

Технология контрастирования цветowych насыщенных цифровых изображений

О.В. Бондарь, А.М. Чмутин, М.А. Чмутин

Abstract – Рассматриваются технологические вопросы выявления латентной изобразительной информации путём усиления контраста изображений в предположении их визуального анализа. С точки зрения информативности переосмыслены методы и средства управления контрастом насыщенности цвета. Дано аналитическое представление системы управления – приводится описание контрастного преобразования насыщенности цвета. Дано графическое представление системы управления – приводится описание способа управления контрастом цветowych насыщенностей. Дано технологическое представление системы управления – приводится описание алгоритма управления контрастом цветowych насыщенностей. При тестировании созданного виртуально-оптического контрастирующего инструментария введены в рассмотрение понятия торможения контрастного преобразования и накопления пикселей, чьё преобразование насыщенности прекращается с началом этого торможения. Показана роль торможения и накопления в формировании контраста изображения – обсуждаются краевые эффекты. Для различных исходных изображений проиллюстрирована работа программы в режимах обращенного и смешанного управления цветовой насыщенностью, комплементарных используемому в современном программном обеспечении (ПО) инструменту <Saturation>. Проиллюстрирован случай, когда коэффициент контрастирования отрицательный. На примере только одной составляющей полного контраста – контраста цветowych насыщенностей – исследовано понятие и определены две типовые задачи контрастного анализа. Продемонстрировано обретение потребной изобразительной информации при решении каждой задачи. Как результат, анонсируется создание новой информационной технологии, в отличие от существующей а) более эффективной в смысле расширения номенклатуры контрастируемых изображений за счёт дополнения <Saturation> двумя новыми режимами информативной обработки; б) исключая возможность появления артефактов, обусловленных погрешностями из за яркостного сдвига и из за оттеночной неравномерности контрастного преобразования насыщенности, так или иначе в современном ПО наличествующими. Регламентированы определённые рекомендации по применению контрастного анализа изображений в сфере экспертной деятельности.

Keywords – изобразительная информация, визуальный анализ, латентный контент, насыщенность цвета, контраст насыщенностей, контрастное преобразование, система управления контрастом, тестирование программ, апробация технологии, экспертные приложения.

Статья получена 30 апреля 2021.

О.В. Бондарь, выпускница физико-технического института ВолГУ (email: olga.bondar_vlg@mail.ru).

А.М. Чмутин, к.т.н. доц. института математики и информационных технологий ВолГУ (email: amchmutin@yandex.ru).

М.А. Чмутин, студент института математики и информационных технологий ВолГУ (email: cmutinmihail8845@gmail.com).

I. ПРЕАМУЛА

Как и большинство предшествующих публикаций по обозначенной теме [1], [2], [3], [4], эта позиционируется в рамках иконики. Однако, при соотнесении излагаемого материала с официальной номенклатурой специальностей возникает коллизия: «Статья относится к специальностям группы 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление, точнее к управлению в оптических системах, конкретно к управлению цветowymi характеристиками изображений, что является предметом специальности 01.04.05 Оптика». Поэтому авторы просят рассматривать данную работу, как лежащую на стыке двух упомянутых специальностей.

II. ВВЕДЕНИЕ

Терминологически наполнение технологии включает в себя методы* и средства** решения некоторой технической задачи [5]. В сфере информационных технологий (ИТ) [5] под средством подразумевается программа, реализующая метод под контролем системы управления (СУ). Теперь, говоря об ИТ, целесообразно дополнить классическое определение СУ [5] понятием о регламенте, или протоколе, содержащем данные для конфигурирования СУ, которые обобщают параметры обработки изображения (типичной группы изображений).

Применительно к рассматриваемому ниже разделу ИТ – компьютерной графике – понятиями регламента, и/или протокола, обработки изображения можно привязать все сведения об актуализации тех или иных программных установок к её предметной области – изобразительной информации (регламент – для одного типа изображений; протокол – для конкретного изображения). Обоснуем насущность такого нововведения.

В информационном плане изображения даже одного и того же объекта могут существенно отличаться друг от друга. Предикат физической оптики (законы излучения, поглощения, преломления, рассеяния, отражения, ... света [6], отвечающие за формирование изображения объекта) однозначен. Но эти законы применяются в бесчисленных комбинациях, что допускает чрезвычайно многозначный цвет объекта в пространстве изображений. Искажения в цвете предопределяют не только погрешности передачи собственно цветовой информации. Они могут привести к утрате информации формной из за падения контраста тех или иных характеристик цвета ниже порога восприятия.

*здесь методы – оптическая основа разрабатываемой технологии.

**здесь средства – компьютерная ипостась разработки.

В этих случаях цвет правят при обработке изображения. Но в силу отмеченной выше многозначности реализации цвета регламент контрастирующей обработки становится для каждого изображения (т.е. для успешного выявления конкретной – потребной именно от этого изображения – информации) индивидуален, присущ только ему одному.

Резюмируем: разнообразие регламентов обусловлено разнообразием информационного наполнения требующих контрастирования изображений.

Цель настоящей работы идентична, а задача логически продолжает (но не финализирует) развитие аналогичных формулировок предыдущей публикации [4]:

- повышение информативности изображений способом вариации контраста их цветовых насыщенностей;
- создание новой системы управления для оригинального контрастного преобразования цветовых насыщенностей и анализ особенностей функционирования соответствующей технологии контрастирования цифровых изображений.

III. STATE-OF-THE-ART

Данные о конфигурации СУ включают в себя сведения о «режиме» контрастирования насыщенностей, о «силе» преобразования их контраста, о точности восстановления яркости. Последний вопрос был детально исследован в [4], «силе» преобразования будет посвящена изрядная часть следующего раздела, здесь представляется необходимым дать пояснения относительно термина режим в текущем контексте.

Режимы контрастирования определяют в зависимости от поведения насыщенностей пикселей изображения:

- насыщенности всех пикселей растут;
 - насыщенности всех пикселей падают;
 - насыщенности одних пикселей растут, других – падают.
- Первый режим по своему принципу действия идентичен инструменту <Saturation> современного ПО: изменение самой насыщенности при определённых условиях ведёт к изменению контраста насыщенностей (последний же для целей выявления латентной изобразительной информации и востребован). Ни второй режим, ни третий по данным [7] в современном ПО не реализован, что исключает из процесса контрастирования большую часть изображений.

Вывод. Для роста эффективности контрастирующего инструментария нужно спроектировать СУ контрастным преобразованием насыщенностей таким образом, чтобы она задействовала все три режима. При этом желательно, чтобы новая СУ включала в себя инструмент <Saturation>, как составную часть. А какой из режимов практичнее (и для каких изображений), должны показать испытания – тестирование и апробация – разработанной ИТ.

Наконец, вслед за [4], следует пояснить вопрос, зачем понадобилось обновить само контрастное преобразование насыщенностей? В этом аспекте проблема состоит в паре погрешностей – яркостном сдвиге при преобразовании насыщенности и/или оттеночной неравномерности этого преобразования. Одна то есть у всего исследованного в [3] ПО и, с учётом представительности изученной выборки, резонно предположить, что и у всего современного ПО. В процессе контрастирования некоторых изображений такие погрешности могут и не сказаться, иных – могут привести

к артефакту – утрате изобразительной информации. Их действие практически непредсказуемо. В быту артефакты – не проблема: как правило, изображения информативно-избыточны. Но в технических, а, тем более, в экспертных приложениях артефакты неприемлемы, да и распознавать артефакты удаётся с трудом.

Устранение этих погрешностей, собственно, и привело к необходимости разработки оригинального контрастного преобразования цветовых насыщенностей. Теоретическое обоснование структуре нового преобразования приведено в работе [4] – это лемма, теорема (и следствие из неё) о сохранении оттенка при сдвиге RGB-координат; вывод выражений для RGB-координат сатурированного сдвигом цвета; вывод укороченного яркостного уравнения. Здесь будут затронуты сугубо практические стороны решения проблемы с латентной изобразительной информацией.

IV. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КонтРАСТом ЦВЕТОВых НАсыЩенНОСТей

Описание контрастного преобразования насыщенности цвета. Аналитическое представление СУ.

Математически преобразование некоторой величины A в величину A' записывается [8] как

$A' = f(A)$,
где до преобразования величина обозначена без штриха, после преобразования – со штрихом, через f обозначена функция преобразования. A применительно к цветовой насыщенности выражение будет выглядеть как $S' = f(S)$.

В общем случае функция f произвольна. В частном – функция f линейна, и преобразование записывается уже в форме [9]

$$A' = \text{CONST} \times A + \text{const},$$

где константы это параметры линейного преобразования контраста. В том числе контраста насыщенностей цвета:

$$S' = M \times S + S_0(1 - M). \quad (1)$$

Здесь каждый параметр преобразования выражениями $\text{CONST} = M$; $\text{const} = S_0(1 - M)$ пресуществляется в параметр контрастирования M ; S_0 . Полученная формула описывает поэлементное преобразование цветовой насыщенности изображения, приводящее к изменению соответствующих контрастов. По сути, формула (1) – основа контрастного преобразования насыщенности (НКП, иначе SCT, id est Saturation-Contrast Transform).

Теперь следует определиться с физическим смыслом параметров контрастирования. С этой целью перепишем формулу (1) в виде:

$$M = \frac{S' - S_0}{S - S_0}.$$

Из структуры полученной формулы вытекает, что M , как соотношение девиаций насыщенности от некоторого фиксированного её значения S_0 до и после контрастного преобразования, – это коэффициент контрастирования. Сама по себе девиация насыщенности может принимать и положительные, и отрицательные значения; она всегда отсчитывается от опорной (референтной) точки S_0 , т. е. от точки, которой свойственно при любом M сохранять изначальное значение насыщенности. Также и $-\infty \leq M \leq +\infty$, а отрицательные M соответствуют обращению контраста насыщенностей. $0 \leq S_0 \leq 1$. Технологически и коэффициент

контрастирования M , и опорное значение насыщенности S_0 задаются пользователем.

Итак, при контрастном преобразовании насыщенности контрасты всех (даже не соседствующих) пар пикселей изображения изменяются одинаково (в M раз). На этом достигается глобальная вариация контраста изображения (локальная вариация контраста возникает когда контраст повышается только у одного фрагмента изображения за счет понижения у других).

Конкретизировать остальные пути, которые приводят к бессистемной вариации контраста изображений, мы здесь не планируем, полагая их (в отсутствие прогностики и перспектив развития) несистематизируемыми *приёмами* контрастирования. Таких приёмов придумано множество: принципиально их число ничем не ограничивается [10], [11], ... (подчас в литературе для одних и тех же приёмов можно встретить самые разные названия).

Рассмотрим структурные составляющие контрастного преобразования насыщенности цвета. Наполнение НКП – это:

- функция контрастирования (1);
- система уравнений (2) для вычисления промежуточных цветовых координат, определяемая функцией (1);
- система уравнений для вычисления цветовых координат (3) в нулевом приближении точности (возврата яркости) и алгоритм её решения [12];
- система выражений для вычисления результирующих цветовых координат, определяемая потребной точностью (возврата яркости), приведённая в [4] – либо используется укороченное уравнение, либо численная процедура;
- свод яркостных уравнений, используемых при возврате яркости в (3) и [4]. Вопросы выбора яркостного уравнения от истоков цветного телевидения [13] вплоть до знакового этапа стандартизации компьютерного ПО [14] оставались дискуссионными. Скорее всего, этот процесс не закончен и сегодня. Поэтому представляемая ниже ИТ обеспечивает возможность применять любое.

Остановимся подробно на системах уравнений (2) и (3). Решением первой из этих систем уравнений отыскиваются сначала два экстремальных – $\text{Max}''(RGB)$ и $\text{Min}''(RGB)$ – и одно промежуточное – $\text{Med}''(RGB)$ – значения цветовых координат отконтрастированного пикселя (с сохранением оттенков для $\text{Max}''(RGB)$ и $\text{Max}(RGB)$; для $\text{Med}''(RGB)$ и $\text{Med}(RGB)$; для $\text{Min}''(RGB)$ и $\text{Min}(RGB)$ по лемме [4], но без сохранения яркости):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Если } S' = 0, \\ \text{Max}''(RGB) = \text{Med}''(RGB) = \text{Min}''(RGB) = \\ \quad = K \cdot R + 3 \cdot G + C \cdot B. \\ \text{Если } S' \neq 0, \\ \text{Max}''(RGB) = [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S' \\ \text{Med}''(RGB) = \text{Med}(RGB) - \text{Max}(RGB) + \\ \quad + [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S' \\ \text{Min}''(RGB) = \text{Min}(RGB) - \text{Max}(RGB) + \\ \quad + [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S'. \end{array} \right. \quad (2)$$

На первый взгляд такая система (2) может показаться избыточной, поскольку для отыскания трех неизвестных необходимы всего только три уравнения. И это суждение было бы вполне справедливым, если $S' \neq 0$ всегда. Однако,

при ближайшем рассмотрении оказывается, что значение $S'=0$ ни коим образом не запрещено. Тогда, как следствие, достаточной становится система из четырех уравнений, и избыточность становится мнимой.

Решением второй системы уравнений (3) впоследствии отыскиваются значения цветовых координат R'' , G'' и B'' отконтрастированного пикселя в нулевом – самом грубом – приближении точности яркостного возврата (опять же с сохранением оттенков для R'' и R ; для G'' и G ; для B'' и B , но уже по теореме [4]):

$$\left\{ \begin{array}{l} Y/Y'' = (K \cdot R + 3 \cdot G + C \cdot B) / (K \cdot R'' + 3 \cdot G'' + C \cdot B'') \\ R'/R'' = Y/Y'' \\ G'/G'' = Y/Y'' \\ B'/B'' = Y/Y''. \end{array} \right. \quad (3)$$

Здесь кажущаяся избыточность приведённой системы уравнений также очевидна: на тот случай, когда исходно одна из RGB-координат некоторого пикселя окажется нулевой, в системе (3) заранее предусмотрено четвёртое уравнение. Таким образом, у НКП мнимая избыточность обеих систем уравнений разрешается алгоритмически – условными переходами, одним единственным в (2), явно прописанным в пп. 9; 13; 15, и их совокупностью в (3), неявно интегрированной в п. 19.

Описание способа управления насыщенностью цвета. Графическое представление СУ.

Проиллюстрируем вышеизложенную аналитику. Для графического отображения формул НКП воспользуемся аналогией с диалоговым окном <Curves>, описывающим в Photoshop зависимость выходного сигнала от входного [15]. В предельном случае (когда зависимость линейная) соответствующий график – прямая. Она изображена на рис. 1.

Здесь S_0 это опорная точка, $M = \text{tg} \alpha'$ это коэффициент контрастирования, α' – угол наклона прямой (диагональ соответствует $M=1$). Наклон и определяет коэффициент контрастирования.

Как видно из верхней диаграммы рис. 1, при $\alpha' \approx 14^\circ$ исходный контраст насыщенностей двух полей (сравним их цвета вдоль оси абсцисс) в результате упал вчетверо (сравним их цвета вдоль оси ординат). Меньший $\pi/4$ угол наклона $\alpha' \approx 14^\circ$ ($M=1/4$) предопределяет уменьшение результирующего контраста насыщенности в сравнении с исходным. При $M=1/4 > 0$ контраст изменился по модулю, но не по знаку.

Как видно по средней диаграмме, при $\alpha' \approx 76^\circ$ исходный контраст насыщенностей (ср. цвета вдоль оси абсцисс) в результате возрос вчетверо (ср. цвета вдоль оси ординат). Большой $\pi/4$ угол наклона $\alpha' \approx 76^\circ$ ($M=4$) предопределяет теперь не уменьшение, а увеличение результирующего контраста насыщенности по сравнению с исходным. При $M=4 > 0$ знак контраста опять не поменялся.

Как видно на нижней диаграмме, при $\alpha' \approx 135^\circ$ исходный контраст насыщенностей (ср. цвета вдоль оси абсцисс) в результате не изменился по модулю (ср. цвета вдоль оси ординат). Но угол наклона $\alpha' \approx 135^\circ$ ($M=-1$) предопределил смену знака результирующего контраста насыщенности по сравнению с исходным. Так как $M=-1 < 0$, произошла инверсия контраста (изначально более насыщенное поле стало в результате менее насыщенным и vice versa).

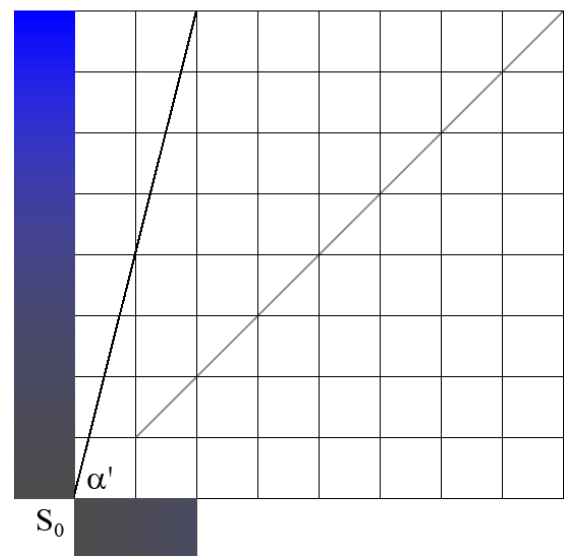
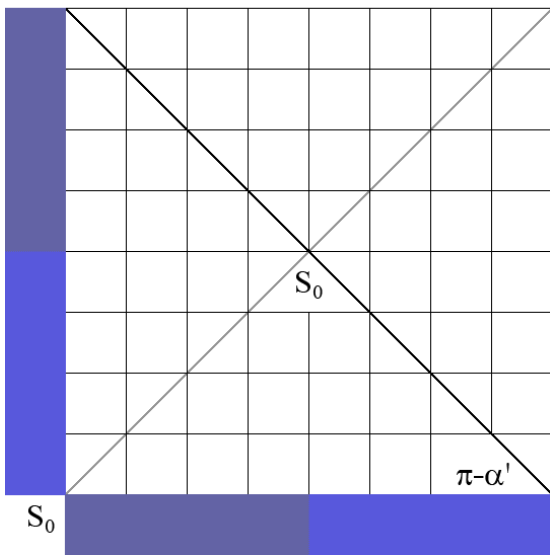
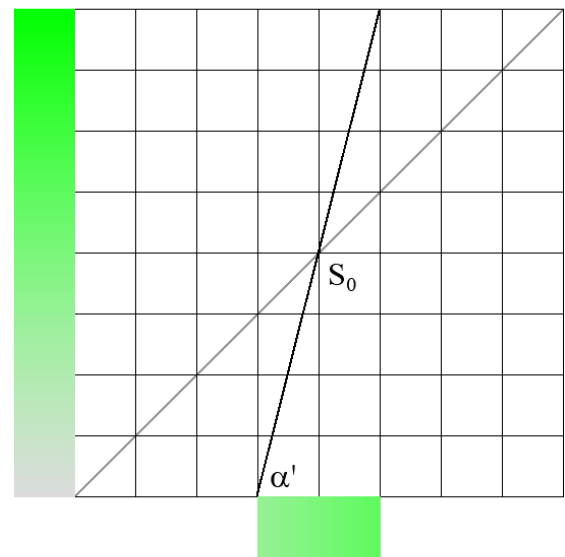
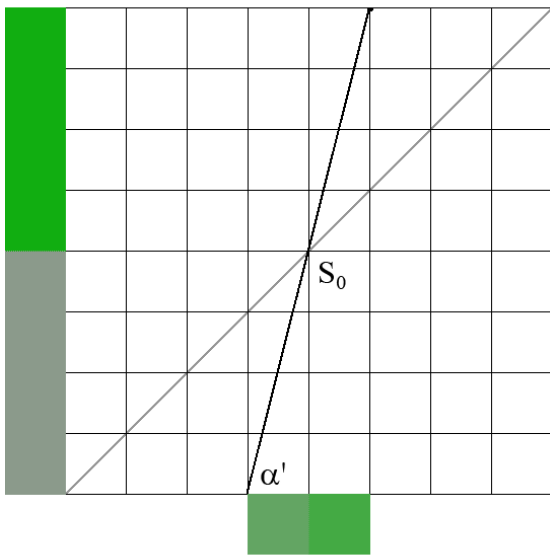
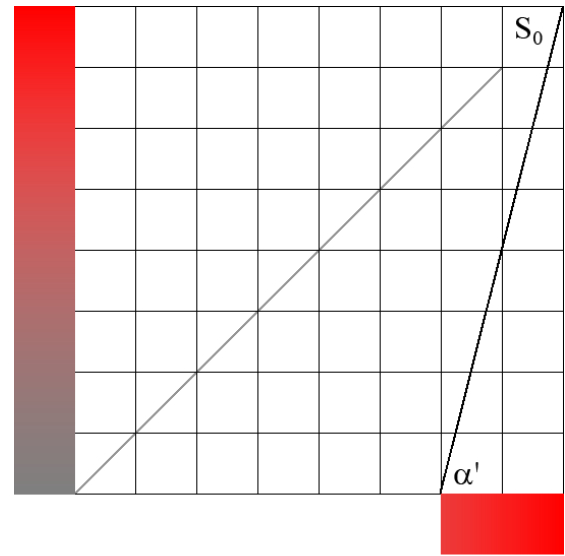
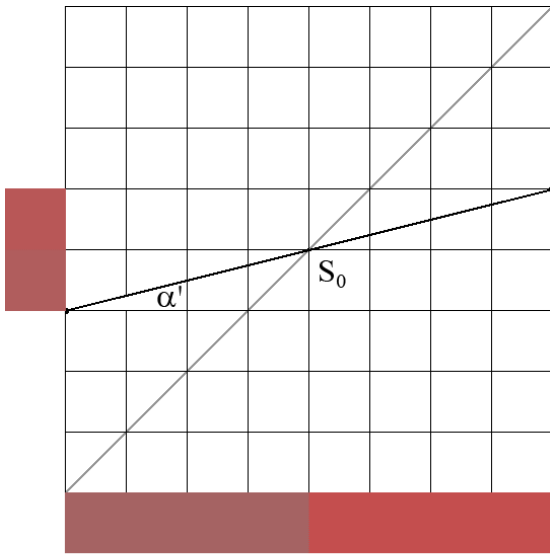


Рис. 1. Зависимость хода преобразования от коэффициента контрастирования.

Рис. 2. Зависимость хода преобразования от установки опорной точки.

На всех предыдущих иллюстрациях опорная точка S_0 устанавливалась в середине шкалы насыщенности цвета. Посмотрим, чем будет отличаться ход контрастирования при её расположении в начале и в конце шкалы – рис. 2. Здесь, наоборот, зафиксировано значение коэффициента контрастирования $M \approx 4$. $S_0 = 0\%$; 50% ; 100% (снизу вверх).

По цвету полос вдоль координатных осей очевидно, что снизу, в минимуме S_0 , у всех пикселей изображения при росте M происходит лишь увеличение S – осуществляется режим непосредственного управления насыщенностью цвета (Real Saturation Mode, или просто Real Mode). В сатурирующем инструментарии программного продукта,

обобщаемого [7], сегодня утилизируется исключительно этот режим, if any.

Сверху, в максимуме S_0 , при росте M происходит лишь уменьшение S – работает режим обращенного управления цветовой насыщенностью (Inverse Saturation Mode, или просто Inverse Mode). Между ними, в средних S_0 , при росте M происходит как увеличение насыщенности одних пикселей, так и уменьшение других – ненасыщенных – включается уже третий режим смешанного управления насыщенностью (Complex Saturation Mode, или Complex Mode).

Выбор опорной точки всецело определяется исходным изображением. Правильный выбор даёт в равной степени оптимальный результат контрастирования для любого: при разных исходных данных три вертикальные полосы (результатирующие) на рис. 2 насыщенностью практически не отличаются.

Из всех свойств преобразования насыщенности цвета в первую очередь имеет смысл отметить его обратимость. На практике её ценность проявляется в том, что применяя такое преобразование к результату контрастирования с обратным M , мы всегда получаем исходное изображение.

В контрастном преобразовании насыщенности – при произвольной её вариации (кроме тривиального случая $S'=0$) – система уравнений (2) обеспечивает сохранение исходных оттенков, но не исходных яркостей. Возникает «информационно-недопустимый» яркостный сдвиг и, как следствие, НКП во исполнение требований леммы об управлении частными контрастами [2] будет отягощено алгоритмической процедурой для приведения яркостей к своим исходным значениям. Отметим, что привнесение этой процедуры не влияет на реверсивность алгоритма контрастирования насыщенности в целом. Здесь следует подчеркнуть, в экспертных приложениях возможность «в обратном ходе» обрести исходное изображение *in situ* придает действиям эксперта особо ценное юристами качество – доказательность [7].

Описание алгоритма управления контрастом цветовой насыщенностей. Технологическое представление СУ.

Алгоритм управления контрастом насыщенностей сжат до последовательного перечисления базовых процедур, включая их операционное наполнение, межпроцедурных и межоперационных условных переходов. Последними, собственно, и формируется управление насыщенностью цвета и/или контрастом цветовой насыщенностей, как таковое. Большинство из внутриоперационных условных переходов здесь были проигнорированы. Опущены здесь и вспомогательные процедуры изначального разложения цифрового изображения на матрицы R-, G- и B- цветовой координат и окончательной сборки трех матриц в единый файл стандартного графического формата.

Структура алгоритма включает в себя:

1. Считывание с командной строки или со всплывающего окна значений опорной насыщенности S_0 , коэффициента контрастирования M и точностного параметра Π .
2. Считывание из служебного rgb-файла коэффициентов K, Z, C используемого яркостного уравнения.
3. Считывание из трёх текстовых файлов значений RGB-координат для каждого пикселя подлежащего обработке изображения.

4. Вычисление исходной яркости для первого пикселя по формуле

$$Y = K \cdot R + Z \cdot G + C \cdot B.$$

5. Отыскание исходных наименьшей, промежуточной и наибольшей RGB-координат первого пикселя $\text{Min}(RGB)$, $\text{Med}(RGB)$ и $\text{Max}(RGB)$.

Если $\text{Max}(RGB)=0$, то вычислить новые RGB-координаты первого пикселя как

$$R'=0,$$

$$G'=0,$$

$$B'=0. \text{ Переход к п. 28.}$$

Если $\text{Max}(RGB) \neq 0$, то вычислить исходную насыщенность первого пикселя по формуле

$$S = \frac{\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)}{\text{Max}(RGB)}.$$

6. Если исходная насыщенность у первого пикселя будет больше опорной (если $S > S_0$), то она станет увеличиваться (случай $M > 1$) или уменьшаться (случай $M < 1$) при контрастировании (для отрицательных M – наоборот). В предельном случае (когда $S_0=0$) реализуется Real Mode управления насыщенностью.

7. Вычисление изначальной девиации насыщенности ΔS первого пикселя по формуле

$$\Delta S = S - S_0.$$

8. Вычисление новой девиации насыщенности первого пикселя по формуле

$$\Delta S' = M(S - S_0).$$

9. Вычисление новой насыщенности первого пикселя по формуле

$$S' = M(S - S_0) + S_0.$$

Если $S' \leq 0$, то вычислить новые цветные координаты первого пикселя как

$$R'=Y,$$

$$G'=Y,$$

$$B'=Y. \text{ Переход к п. 20.}$$

Если $S' \neq 0$, то переход к п. 16.

10. Если исходная насыщенность у первого пикселя будет меньше опорной (если $S < S_0$), то она станет уменьшаться (случай $M > 1$) или увеличиваться (случай $M < 1$) при контрастировании (для отрицательных M – наоборот). В предельном случае (когда $S_0=1$) реализуется Inverse Mode управления насыщенностью.

11. Вычисление изначальной девиации насыщенности ΔS первого пикселя по формуле

$$\Delta S = S_0 - S.$$

12. Вычисление новой девиации насыщенности первого пикселя по формуле

$$\Delta S' = M(S_0 - S).$$

13. Вычисление новой насыщенности первого пикселя по формуле

$$S' = S_0 - M(S_0 - S).$$

Если $S' \leq 0$, то вычислить новые цветные координаты первого пикселя как

$$R'=Y,$$

$$G'=Y,$$

$$B'=Y. \text{ Переход к п. 20.}$$

Если $S' \neq 0$, то переход к п. 16.

14. Если исходная насыщенность у первого пикселя будет равна опорной (если $S=S_0$), то она не станет изменяться при контрастировании.

15. Вычисление новой насыщенности первого пикселя по формуле

$$S' = S.$$

Если $S'=0$, то вычислить новые цветовые координаты первого пикселя как

$$R'=Y,$$

$$G'=Y,$$

$$B'=Y. \text{ Переход к п. 20.}$$

16. Грубая оценка предельно возможного значения насыщенности первого пикселя, достижимого в процессе контрастирования, по формуле

$$S_{lim} = [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] \frac{Y / \text{MaxMax}(RGB) - 1}{Y - \text{Max}(RGB)}.$$

Если $S_{lim} \leq 1$, то $S_{lim} = S_{lim}$; если $S_{lim} > 1$, то $S_{lim} = 1$.

Если $S' \leq S_{lim}$, то $S' = S'$; если $S' > S_{lim}$, то $S' = S_{lim}$.

17. Грубая оценка промежуточных значений цветовых координат первого пикселя по формулам:

$$\text{Max}''(RGB) = [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S',$$

$$\text{Med}''(RGB) = \text{Med}(RGB) - \text{Max}(RGB) + [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S',$$

$$\text{Min}''(RGB) = \text{Min}(RGB) - \text{Max}(RGB) + [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S'.$$

18. Грубая оценка промежуточного значения яркости первого пикселя по формуле

$$Y'' = K \cdot R'' + 3 \cdot G'' + C \cdot B''.$$

19. Грубая оценка новых цветовых координат первого пикселя по формулам:

$$R' = R'' \cdot Y / Y'',$$

$$G' = G'' \cdot Y / Y'',$$

$$B' = B'' \cdot Y / Y''.$$

20. Выбор режима возврата яркости по критерию время-точность.

Если $\Pi=2$, то возврат яркости выполняется грубо. Переход к п. 28.

Если $\Pi < 1$, то возврат яркости выполняется точно. Переход к п. 24.

Если $\Pi=1$, то возврат яркости выполняется приближённо.

21. Вычисление исходной яркости первого пикселя в последовательности операций:

- при R, G или B , не превышающих 10,31475, найти R_S, G_S или B_S по формулам:

$$R_S = R / 12,92 \text{MaxMax}(RGB),$$

$$G_S = G / 12,92 \text{MaxMax}(RGB),$$

$$B_S = B / 12,92 \text{MaxMax}(RGB);$$

- при R, G или B , превышающих 10,31475, найти R_S, G_S или B_S по формулам:

$$R_S = \left[\frac{R / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4},$$

$$G_S = \left[\frac{G / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4},$$

$$B_S = \left[\frac{B / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4};$$

- вычислить исходную яркость первого пикселя по формуле

$$Y_S = K \cdot R_S + 3 \cdot G_S + C \cdot B_S.$$

22. Приближённая оценка новой яркости первого пикселя в последовательности операций:

- при R', G' или B' , не превышающих 10,31475, найти R_S', G_S' или B_S' по формулам:

$$R_S' = R' / 12,92 \text{MaxMax}(RGB),$$

$$G_S' = G' / 12,92 \text{MaxMax}(RGB),$$

$$B_S' = B' / 12,92 \text{MaxMax}(RGB);$$

- при R', G' или B' , превышающих 10,31475, найти R_S', G_S' или B_S' по формулам:

$$R_S' = \left[\frac{R' / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4},$$

$$G_S' = \left[\frac{G' / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4},$$

$$B_S' = \left[\frac{B' / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4};$$

- вычислить новую яркость первого пикселя по формуле $Y_S' = K \cdot R_S' + 3 \cdot G_S' + C \cdot B_S'$.

23. Приближённая оценка коэффициента к приведения новой яркости к исходной по формуле

$$k = (Y_S / Y_S')^{1/2,4}. \text{ Переход к п. 25.}$$

24. Точная оценка к осуществляется численным (методом подгонки с погрешностью воспроизведения исходной яркости Y_S , не превышающей значения Π) решением уравнения

$$Y_S = k^{2,4} (K \cdot R_S' + 3 \cdot G_S' + C \cdot B_S'), \text{ в котором}$$

- при R', G' или B' , не превышающих 10,31475, соответствующая R_S', G_S' или B_S' определяется по формулам:

$$R_S' = R' / 12,92 \text{MaxMax}(RGB),$$

$$G_S' = G' / 12,92 \text{MaxMax}(RGB),$$

$$B_S' = B' / 12,92 \text{MaxMax}(RGB);$$

- при R', G' или B' , превышающих 10,31475, соответствующая R_S', G_S' или B_S' определяется по формулам:

$$R_S' = \left[\frac{R' / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4},$$

$$G_S' = \left[\frac{G' / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4},$$

$$B_S' = \left[\frac{B' / \text{MaxMax}(RGB) + 0,055}{1,055} \right]^{2,4}.$$

25. Приближённая/точная оценка предельно возможного значения насыщенности первого пикселя, достижимого в процессе контрастирования, по формуле

$$S_{lim} = [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] \frac{k \cdot Y / \text{MaxMax}(RGB) - 1}{Y - \text{Max}(RGB)}.$$

Если $S_{lim} \leq 1$, то $S_{lim} = S_{lim}$; если $S_{lim} > 1$, то $S_{lim} = 1$.

Если $S' \leq S_{lim}$, то $S' = S'$; если $S' > S_{lim}$, то $S' = S_{lim}$.

26. Приближённая/точная оценка промежуточных значений цветовых координат первого пикселя по формулам:

$$\text{Max}''(RGB) = [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S',$$

$$\text{Med}''(RGB) = \text{Med}(RGB) - \text{Max}(RGB) + \\ + [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S',$$

$$\text{Min}''(RGB) = \text{Min}(RGB) - \text{Max}(RGB) + \\ + [\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)] / S'.$$

27. Приближённая/точная оценка результирующих цветовых координат первого пикселя по формулам:

$$R' = R'' \cdot k,$$

$$G' = G'' \cdot k,$$

$$B' = B'' \cdot k.$$

28. Округление значений R' , G' и B' до целых.

29. Переход к следующему пикселю и выполнение цикла, начиная с п. 4.

Теперь будет уместно детализировать реализуемую СУ цветовой насыщенностью изображения и её контрастами. Пояснения потребуются для следующих структурных элементов (операторов) алгоритма.

Как видим, в изложенном перечне операторами п. 6...9 предопределяется эволюция насыщенности всех пикселей для Real Mode контрастного преобразования и для одной из двух ветвей его Complex Mode – той ветви, где росту насыщенностей сопутствует только рост их контрастов. Операторами п. 10...13 эволюция предопределяется для Inverse Mode контрастного преобразования и для второй ветви его Complex Mode – той, где, напротив, падению насыщенностей сопутствует лишь рост их контрастов. Но утверждать, что операторы п. 14...15 управляют цветом пикселей, чьи насыщенности совпали с опорной, было бы лингвистически не вполне корректно: эти насыщенности никак не изменяются, а в соответствии с леммой [2] сохраняются и яркости таких пикселей, и их оттенки – цвет у них остаётся прежним.

В операторах п. 16; п. 25 отыскивается величина S_{lim} . Это наибольшая (или наименьшая) насыщенность цвета, при которой сохраняются исходными яркость и оттенок пикселя. На практике это точка эволюции насыщенности, по достижении которой одна из трёх цветовых координат контрастируемого пикселя обретает своё экстремальное значение: $\text{Ext}(RGB)=0$; 255, когда цветовое разрешение 8bit/channel, либо $\text{Ext}(RGB)=0$; 65535 при 16bit/channel. И в это точке контрастное преобразование насыщенности цвета останавливается.

В операторах п. 19; п. 27 вычисляются грубые; точные или приближённые значения результирующих цветовых координат, а выбор потребной точности осуществляется оператором п. 20. В этом плане детальному обоснованию разработанного алгоритма контрастного преобразования насыщенностей цвета посвящена авторская работа [4].

В приведённом здесь алгоритмическом описании СУ контрастом купирована достаточно протяженная обвязка однотипными условными переходами, обеспечивающими случаи, когда $M < 0$. На целостность восприятия материала эти элементы почти не влияют, а их отсутствие заметно упрощает его изложение в журнальном формате.

V. ТЕСТИРОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ

Программным воплощением описанной выше системы управления осуществляется оригинальная связка двух инструментов <Saturation> и <Contrast>, реализующая вариацию и цветовых насыщенностей, и их контрастов. Причём обе функции интегрированы непосредственно в алгоритм контрастирования насыщенностей: это отнюдь не разрозненные средства в компьютерной технологии выявления изобразительной информации с перспективой её последующего – как правило визуального – анализа. Такая функциональная связка, подобная яркостной [12], систематизирует средства управления контрастирующего инструментария виртуальной оптики.

Ранее результаты тестирования метода (преобразования $S + \text{восстановления } Y$) уже приводились в [4] как функция точности восстановления. Ныне приводятся и результаты тестирования его вкпе с созданной СУ, – по умолчанию в этой статье все изображения обработаны с наилучшим качеством восстановления (соответствующая яркостная погрешность не превышает $\Pi=0,000005$).

Рис. 3 соотносится с нижней; рис. 4 – с верхней; рис. 5 – со средней диаграммами на рис. 2. Рис. 6 соответствует нижней диаграмме на рис. 1.

Развёртки демонстрируют динамику контрастирования насыщенностей тест-объектов, сформированных парой полей, оттенки и яркости каждого из которых одинаковы по полю. Проиллюстрированы все возможные режимы контрастной обработки изображений: Real Mode, когда насыщенности у всех пикселей растут и Inverse Mode, когда насыщенности у всех пикселей падают; два случая Complex Mode:

- когда насыщенности пикселей, большие, чем опорная, растут; а насыщенности пикселей, меньшие, чем опорная, падают при увеличении коэффициента контрастирования;
- когда насыщенности пикселей, меньшие, чем опорная, растут; а насыщенности пикселей, большие, чем опорная, падают при уменьшении коэффициента контрастирования.

Первая развёртка на рис. 3 иллюстрирует Real Mode. Насыщенность опорной точки – минимальна $S_0=0\%$ и коэффициент контрастирования меняется слева направо от $M=0,0$ до $M=3,94$ с одинаковым шагом. Расположение точки начала развёртки ($M=1,00$) помечено стрелкой – здесь координаты цвета полей:

$$R=112, G=089, B=096 / R=094, G=092, B=099. \quad (4)$$



Рис. 3. Результаты обработки, как функция коэффициента контрастирования в Real Mode.

Контраст их насыщенностей, в этой точке равный 14%, растёт вплоть до 55% для правого конца развёртки. При этом насыщенность у верхнего поля даже не достигает своего предельно возможного значения 100% (у нижнего поля тогда 33%), позволяемого координатами цвета (4), поскольку восприятие контраста уже вполне достаточное.

Иначе говоря, технологическая особенность развёртки на рис. 3, – это прекращение процесса контрастирования насыщенностей до начала его естественного торможения на верхней границе диапазона насыщенности (здесь, как видим, не нарушается монотонный характер развития соответствующего контраста). Тогда уместен вопрос, чем же эта особенность обоснована?

Тем, что в развёртке на рис. 3 контраст насыщенностей не уединён. Наряду с ним присутствует ещё и визуальный контраст оттенков. Точно также, как визуальный контраст насыщенностей в ходе развёртки повышается за счёт пропорционального роста слева направо насыщенностей сопоставляемых полей, будет повышаться и визуальный контраст оттенков. Но последний – уже за счёт прироста своей видности [2]. В рассматриваемом случае (4) имеет место солидарное действие двух составляющих полного контраста – контрастов насыщенностей и оттенков.

Вторая развёртка на рис. 4 иллюстрирует Inverse Mode. Насыщенность опорной точки совмещена с максимумом $S_0=100\%$, и коэффициент контрастирования изменяется с одинаковым шагом слева направо от $M=0,0$ до $M=33,3$. Положение точки начала развёртки ($M=1,00$) отмечено стрелкой – здесь координаты цвета полей:

$$R=184, G=002, B=011 / R=184, G=006, B=014. \quad (5)$$

В этой точке разница насыщенностей у сопоставляемых полей мала, и контраст насыщенностей лежит несколько ниже порога контрастной чувствительности глаза. А во всей развёртке одинаковы и оттенки, и яркости полей, – полный контраст есть всецело контраст насыщенностей.



Рис. 4. Результаты обработки, как функция коэффициента контрастирования в Inverse Mode.

Контраст насыщенностей у верхнего и нижнего полей, исходно равный 2%, монотонно растёт вплоть до 67% для правого конца развёртки и – по мере увеличения M – он преодолевает порог восприятия человеческим глазом. У верхнего поля насыщенность теперь уже достигает своего предельно возможного значения (67%), допускаемого (5), в то время как у нижнего поля она успевает обнулиться. Технологический процесс контрастирования завершается на нижней границе диапазона насыщенностей (опять же, как и в Real Mode, без искажения хода соответствующего контраста).

Таким образом, развёртки, приведённые на рис. 3 и 4, были получены в рамках сценария свободного развития контраста насыщенностей. Даже если развёртка включает момент торможения преобразования, то в ней исключено накопление результатов преобразования после этой точки. Наконец, представляет интерес рассмотреть случаи, когда такое накопление наличествует.

Развёртки на рис. 5 и 6 иллюстрируют Complex Mode. Здесь опорная точка занимает промежуточное положение на шкале насыщенностей; сценарий их контрастирования предполагает не только торможение, но и накопление.

В развёртке на рис. 5 насыщенность опорной точки – $S_0=10\%$ и коэффициент контрастирования с одинаковым шагом изменяется слева направо от $M=0,0$ до $M=12,1$. Место расположения точки начала развёртки ($M=1,00$) отмечено стрелкой – здесь координаты цвета полей:

$$R=224, G=215, B=193 / R=219, G=215, B=204. \quad (6)$$

В этой точке разница насыщенностей у сопоставляемых полей чуть больше, и контраст их насыщенностей лежит приблизительно на пороге контрастной чувствительности глаза. Оттенки (при наличии) и яркости полей развёртки одинаковы. Полный (тот, который видит человеческий глаз) контраст – исключительно контраст насыщенностей.



Рис. 5. Результаты обработки, как функция коэффициента контрастирования в Complex Mode при его увеличении.

Контраст насыщенностей цвета верхнего / нижнего полей, в точке (6) равный 7%, возрастает до 58% на правом конце развёртки, приблизительно соответствуя присущему глазу человека порогу визуального восприятия. У верхнего поля насыщенность и в этом случае ограничивается предельно возможным значением (58%), которое разрешается по (6), при том, что у нижнего – она к правому концу развёртки уже не только доходит до нуля, но и её нулевые значения накапливаются. Процессом накопления нулей управляет п. 13 алгоритма. Развёртка верхнего поля демонстрирует особенность технологического ограничения шкалой RGB роста насыщенности сверху – по достижении наибольшей из трёх цветовых координат предельного значения 255 или 65535 НКП тормозится. Далее управление подобным – светлым – полем будет определяться в п. 25 алгоритма.

Зафиксированные в момент торможения насыщенности нижнего поля накапливаются в развёртке. Это позволяет ещё более или менее повысить контраст (сравним верхний и нижний края развёртки в одной и той же точке) за счёт того что насыщенность у верхнего поля всё продолжает расти, тогда как насыщенность нижнего уже постоянна. Ширина области накопления составляет 80% от развёртки нижнего поля в её правой части. Остающиеся 20% слева демонстрируют картину свободного развития контраста насыщенности, – она (по сравнению с предшествующими развёртками) сузилась пятикратно.

В развёртке на рис. 6 насыщенность опорной точки – $S_0=20\%$, а коэффициент контрастирования изменяется слева направо от $M=+1$ до $M=-8$ с одинаковым шагом. Положение точки начала развёртки ($M=1,00$) отмечено стрелкой – здесь координаты цвета полей:

$$\begin{aligned} R=038, G=035, B=034 / \\ / R=019, G=019, B=019 / \\ / R=000, G=212, B=183. \end{aligned} \quad (7)$$

В этой точке у верхней пары полей насыщенности малы, их различие ничтожно, и контраст не превосходит порога контрастной чувствительности глаза, тогда как у нижнего поля насыщенность существенно больше, и его контраст со средним полем стандартному наблюдателю очевиден.

VI. АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТКИ



Рис. 6. Результаты обработки, как функция коэффициента контрастирования в Complex Mode при его уменьшении.

Контраст цветовых насыщенностей верхнего со средним полей, изначально составляющий 10%, повышается ближе к правому концу развёртки до 100% – от еле заметного до уверенно воспринимаемого человеком. А у нижней пары полей наоборот, – контраст цветовых насыщенностей от начальных 100% снижается на правом конце развёртки до нуля, оставляя для человеческого восприятия одну лишь яркостную составляющую полного контраста.

Исходная (100%) насыщенность у нижнего поля падает. Закономерны и её торможение в нуле, и накопление нулей – эти процессы управляются операциями, заложенными в п. 9 алгоритма. У среднего поля исходно равная нулю насыщенность вдоль развёртки не меняется, хоть это и вряд ли будет заметно на глаз, поскольку среднее поле слишком тёмное. Напротив, у верхнего поля предельный по (7) рост насыщенности (100%) очевиден. Но теперь, в отличие от рис. 5, развёртка верхнего поля демонстрирует особенность технологического ограничения шкалой RGB роста насыщенности снизу – по достижении наименьшей из трёх цветовых координат предельного значения 0 НКП тормозится. В дальнейшем управление таким – тёмным – полем будет осуществляться по п. 25 алгоритма.

Таким образом при тестировании были отработаны все три возможных режима управления контрастом цветовых насыщенностей (на простейших – модельных – цифровых изображениях). Опробовано обращение хода (то есть знака девиации) контрастирования, чем введена в рассмотрение феноменология контрастного преобразования цветовой насыщенности для случая отрицательного коэффициента контрастирования. По-видимому, можно заключить, что тестирование, как стадия разработки, прошло успешно. И наконец, уместно пояснить, что в процессе тестирования строилось множество развёрток – те, что на рис. 3 ... рис. 6 отобраны для иллюстрации этой статьи из соображений сходства по цветовой гамме и по регламенту обработки с использованными при последующей апробации новой СУ изображениями (рис. 7 ... рис. 10).

Необходимость опробовать разработку на «реальных» изображениях – со случайным образом расположенными или со случайным образом распределёнными значениями характеристик пикселями – обусловлена стохастическим характером формирования изобразительной информации. Аналогично тому, как при тестировании были получены краевые эффекты торможения и накопления, на стадии апробации могут обнаружиться уже иные информационно значимые особенности управления контрастом цветовых насыщенностей. Описанию этой специфической стадии и обсуждению полученных при тестировании и апробации результатов посвящены следующие разделы.

В контрастном анализе принято различать две типовые задачи* преобразования изображений:

- выделение (в ряде случаев – уединение) потребного для изучения фрагмента определённого цвета. Высвечивание всего лишь одного фрагмента картины сопровождается ограничением визуального восприятия изобразительной информации обо всех остальных. Технология обработки изображений такую ограниченность информации [16], не выделяемой при их контрастировании, интерпретирует, как предпосылку для устранения избыточности. В задаче выделения путём контрастного преобразования картины из под порога зрительного восприятия цвета извлекается лишь цветовая изобразительная информация. Чаще всего сигнальная [7]. Но решение задач выделения может дать ответы на вопросы, поставленные перед экспертом, не только о цвете выделяемого фрагмента, а и, например, о его местоположении на картине и т.д., и т.п.;
- разделение соседствующих фрагментов для выявления их границы. В таких задачах из под контрастного порога зрительного восприятия извлекается уже сугубо формная изобразительная информация. Решение задач разделения может давать ответы на вопросы эксперту не только о форме границы, разделяющей фрагменты картины, но и о форме самих фрагментов, и др.

Но если условия решения задачи разделения детально исследовались в [2] и сами решения демонстрировались в [12], в [17], в других предшествующих работах, то задача выделения ранее только упоминалась, как таковая [2]. Её поэтому ниже будем комментировать наиболее подробно.

Примеры обеих задач контрастного анализа, решаемых с использованием разработанной ИТ, демонстрируются на рис. 7 ... рис. 10 и обсуждаются в следующем разделе. На каждом сверху скомпоновано исходное изображение, ниже результат(ы) контрастирования его насыщенностей. Общим для всех четырёх является то, что коэффициенты контрастирования, с которыми получен результат, равны наибольшим значениям M в развёртках рис. 3 ... 6, а цвета, предположительно наиболее информативные в исходных картинах, соответствуют данным (4) ... (7).

На рис. 7 изображена причальная стенка морского порта не в лучших погодных условиях. Рисунок иллюстрирует управление контрастами насыщенностей изображения с целью обнаружить на его поле устройства, имеющие по правилам Морского Регистра [18] сигнальную окраску красного цвета. На первый взгляд ничего подобного там нет. При визуальном анализе – типичная задача выделения по цвету одного фрагмента изображения на фоне других, иного цвета.

Повысим контраст цветовых насыщенностей картины в целом, используя Real Mode (опорная точка в нуле шкалы насыщенностей), при коэффициенте контрастирования $M=3,94$. На результирующем изображении теперь стали отчетливо видны два красных пятна: хотя форма у них и не определена, но искомое местоположение фиксируется.

* Собственно, задачи выделения и разделения двуедини: решая одну, вы в той или иной степени решаете и вторую. Задача именуется по приоритетности выявления потребной информации, цветовой либо формной. Обе задачи объединяются понятием контрастного анализа.

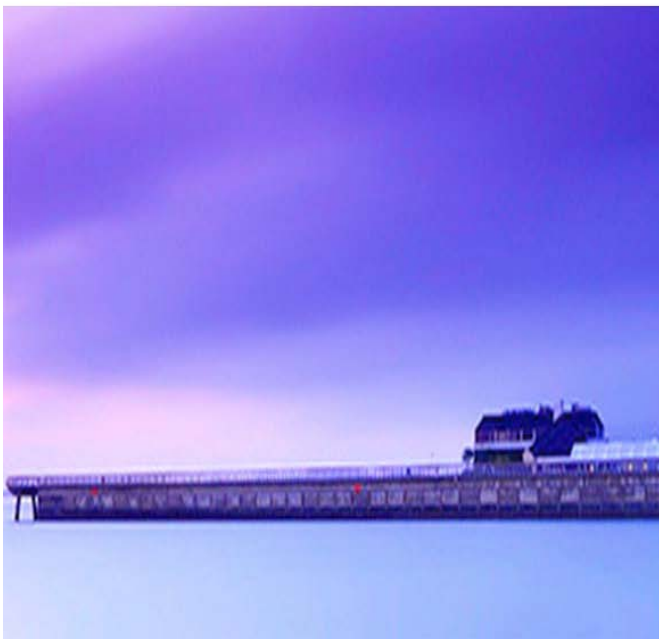


Рис. 7. Контрастирование в Real Mode.

Особенности текущей иллюстрации. 1) Положительному результату очень способствует сопутствующий базовому процессу контрастирования насыщенностей цвета прирост видности контраста оттенков цвета. 2) Результат рис. 7 незначительно отличается от получающегося в Photoshop. Это не значит, что так же будет и с любым изображением – см. рис. 4 в [2], где инструмент <Saturation> Photoshop (он поддерживает исключительно Real Mode управления контрастным преобразованием) даёт визуально значимую потерю важной изобразительной информации*.

На рис. 8 изображен отпечаток пальца на фотографии.

*В зависимости от конкретных обстоятельств (от информационного наполнения исходного изображения – предмета экспертизы) задача выделения может решаться как с сохранением – для достоверности – фоновой изобразительной информации, так и с её подавлением, если фоновая информация заведомо не актуальна (не востребована, или не релевантна) – для улучшения восприятия потребного фрагмента путём устранения избыточной информативности (шумов).



Рис. 8. Контрастирование в Inverse Mode.

Таким образом, фоном латентному папиллярному узору послужил витраж, выполненный по-видимому из стекла нескольких весьма насыщенных оттенков, и теперь от контрастирования потребуются решать задачу разделения линий с подложкой. При таких насыщенностях цвета (как и любой инструмент <Saturation> существующего ПО) Real Mode уже не срабатывает – большие насыщенности повышать некуда, а с их понижением контраст не растёт, а падает. Поэтому был использован Inverse Mode (опорная точка на пике насыщенности: $S_0=1$), когда коэффициент контрастирования $M=33,3$. Как следствие, на красных (в основном) полях у результирующего изображения стали различимы и такие детали, которые позволяют визуальнo идентифицировать отпечаток [19].

Особенность этой иллюстрации: с таким изображением положительный результат при контрастировании – когда удаётся извлекать новую долю формной изобразительной информации без потери старой – штатными средствами всех 24, исследованных ранее в работе [3], прикладных программных пакетов вообще недостижим.

Перейдём к контрастированию изображений в Complex Mode, объединяющем как существующий в ПО сегодня Real Mode, так и привнесённый выше Inverse Mode. Этот режим представляет для визуального анализа наибольшие возможности контрастирования поэтому иллюстрируется вдвое против предыдущих.

На рис. 9 изображен отпечаток пальца на весьма тускло окрашенной бумаге (однородное широкое купонное поле на лицевой стороне десятитысячной банкноты [20]). Этот пример также посвящен задаче разделения линий узора с подложкой. Контрастирование в Complex Mode выбрано из соображений максимизации контраста (опорная точка неравноудалена от экстремумов насыщенности: $S_0=0,1$) и коэффициент контрастирования $M=12,1$. Как результат, папиллярные линии получились настолько чёткими, что и для автоматизированных дактилоскопических систем идентификации [19] могут сгодиться без дополнительной "пробоподготовки", или image conditioning.

Характерная для данной иллюстрации особенность – результат показан в сравнении с полученным в Photoshop CS5 (он – нижний на рис. 9) инструментом <Saturation>, функционирующем в Real Mode управлением контрастным преобразованием при установке прироста насыщенности +55 – см. рис. 1 в [1]. Сопоставим приращения контраста насыщенностей. В Photoshop насыщенность папиллярных линий стала отличаться от насыщенности фонового цвета приблизительно вдвое сильнее, чем было исходно, в то время как разработанная технология контрастирования того же оригинала (он – верхний на рис. 9) обеспечивает $7\times$ приращение соответствующего контраста. Этот вывод неочевиден, – стоит обсудить его подробно. В Real Mode насыщенности всех пикселей картины могут только расти (наращивая свои межпиксельные контрасты) вплоть до торможения и накопления в максимуме $S=1$. В Complex Mode – большие опорного значения точно так же растут. Но меньшие – падают с торможением и накоплением в минимуме $S=0$, что <Saturation> в Photoshop недоступно. Разнонаправленное изменение насыщенностей приводит, естественно, к большей контрастирующей способности.

На рис. 10 изображен светофор. Но показан он с такого

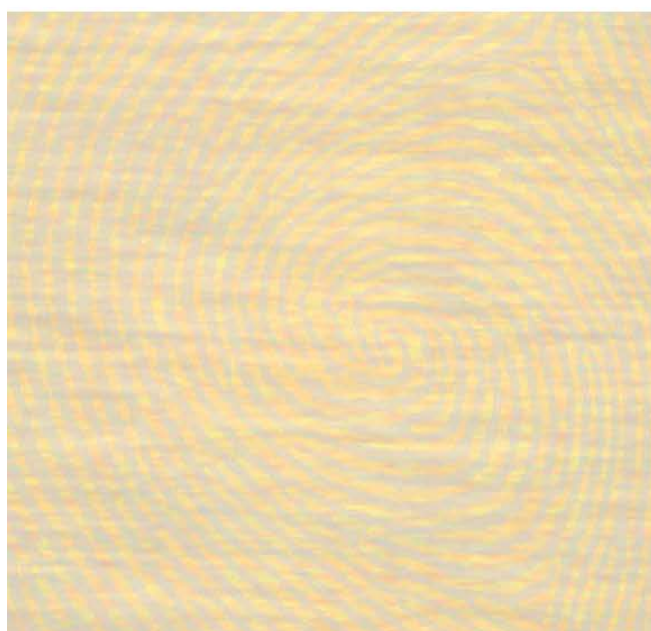


Рис. 9. Контрастирование в Complex Mode.



Рис. 10. Контрастирование в Complex Mode.

ракурса, что возможность определить, горит у него или нет левый верхний сигнал, отсутствует: лобовая засветка от зелёного фонаря, к которой глаз более чувствителен [21], перебивает рассеянный на тёмном козырьке свет от красного фонаря, даже если он работает. Нужно решать типичную задачу выделения цвета последнего. В Complex Mode ($S_0=0,2$) после контрастирования при $M=-8$ свет зелёного, разрешающего, сигнала обесцвечивается, а цвет красного, запрещающего, – насыщается. Это позволяет (в случаях аварийной ситуации) исключить неисправность средств управления дорожным движением. Изображение на рис. 10 не привязано к конкретному правонарушению, но задача для транспортной экспертизы характерная.

Отличительная особенность данной иллюстрации – это обратный ход цветовых насыщенностей в процессе их контрастирования, диктуемый отрицательным знаком M . Такой регламент для контрастирования обуславливается соотношением насыщенностей несущих изобразительную информацию и неинформативных фрагментов картины и обеспечивает подавление, вплоть до вырождения оттенков, исходно более сильного зелёного сигнала, одновременно усиливая исходно более слабый – красный. Подчеркнём, что регламенты с реверсированием НКП инструментарию современного ПО недоступны.

Итак, сравнивая исходные изображения с результатами на рис. 7 ... рис. 10, можно утверждать, что в каждом случае поставленная задача контрастного анализа выполнена. Ибо во всех трёх испытанных режимах контрастирования информативность изображений выросла именно за счёт подъёма их контраста насыщенностей многократно выше порогового уровня контрастной чувствительности глаза. Теперь соотнесём это утверждение с информационными требованиями теории изобразительного контраста [2].

VII. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно лемме [2] яркости при этом преобразовании меняться не должны. И не менялись, что обеспечивалось алгоритмически [4]. Отсюда заключаем, что переносимая сугубо контрастами яркостей формная изобразительная информация сохранялась без искажений. С оттенками – чуть сложнее.

Затруднения связаны с тем, что при контрастировании насыщенностей у некой части пикселей может произойти вырождение оттенков по достижении $S=0$. Это, однако, в большинстве случаев формально не противоречит лемме [2]. Ведь вырожденный оттенок отнюдь не равен нулю – он просто не существует; про него нельзя сказать, что он изменился по сравнению с исходным, – получается, что требования леммы [2] формально не нарушены. На такой позиции здесь следует пока остановиться, оставляя более детальное рассуждение и выкладки для теоретической проработки.

В то время, как апробация разработанной технологии в Real Mode (рис. 7) и в Inverse Mode (рис. 8) интуитивно понятна и особой детализации не требует, путь получения наиболее ощутимого результата в Complex Mode (рис. 9; рис. 10) не столь очевиден. Прокомментируем его.

Во-первых, рис. 9 и рис. 10 демонстрируют процессы контрастирования при накоплении пикселей предельной

БИБЛИОГРАФИЯ

$S=0$ и/или предельно возможных $S \approx 1$ насыщенностей, то есть в наиболее контрастных локализациях её диапазона. На рис. 7 и рис. 8 подобного накопления не наблюдается – там для получения достаточного контрастного эффекта ещё отсутствует необходимость доводить насыщенности информативных фрагментов до максимально возможного ($S \approx 1$ на рис. 9) и минимального ($S=0$ на рис. 10) значений. Соответственно, и визуальные эффекты – разделение на рис. 9; выделение на рис. 10 – оказались более весомыми.

Во-вторых, появлению пикселей предельно низкой $S=0$ насыщенности сопутствует вырождение исходно разных оттенков в единый grayscale. Это также характерно лишь для обесцвечивания информативных папиллярных линий на рис. 9 (при этом упрощается визуальное восприятие их формы) и для подавления неинформативной фоновой периферии на рис. 10 (при этом упрощается визуальное восприятие цвета левого верхнего фонаря светофора). Это так же, как и накопление насыщенностей, усиливает видимый результат их контрастирования по сравнению с рис. 7 и рис. 8.

Резюмируем: как накопление пикселей с одинаковой насыщенностью цвета, так и вырождение оттенков цвета, относятся к явлениям на краях диапазона насыщенности. Краевым эффектам, и не только при контрастировании насыщенностей, планируем посвятить отдельную статью.

VIII. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам тестирования и апробации разработки можно констатировать – система управления контрастным преобразованием цветовых насыщенностей реализована. Используя связку программных процедур, создан единый (не дополнительный) инструмент с функциями управления насыщенностью и контрастом насыщенностей. Изучены особенности его функционирования – показано, что СУ позволяет контрастировать с положительным приростом визуально воспринимаемой информации намного более широкую номенклатуру цифровых изображений, чем всё (по данным обзора в [7]) современное ПО. А тот вывод, что разработанная технология позволяет контрастировать без методических ошибок в цветопреобразовании, всему современному ПО присущих [3], был оглашен ещё в [4].

Имеет перспективу и приложение разработки к задачам синтеза. В этой области следует отметить и техническую возможность придания всему изображению одинаковой насыщенности, когда $M=0$, и её наиболее востребованную в цифровой фотографии [22] частность – black-and-white-conversion, когда (в дополнение к $M=0$) ещё и $S_0=0$. Это в современном ПО производится отдельным (подчас и не одним [23]) инструментом с разными результатами. Для рассмотренной ИТ такой инструментарий избыточен.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Б.С. Ринкевичюса (МЭИ, Москва) за обсуждение материала статьи и критические замечания, способствовавшие улучшению восприятия текста.

*Насыщенность любого пикселя всегда можно минимизировать до $S=0$. Но максимизация насыщенности произвольного пикселя может быть ограничена и до достижения $S=1$ – предельно возможным значением $\text{Max}(\text{RGB})=255$ либо $\text{Max}(\text{RGB})=65535$.

- [1] Бондарь О.В., Чмутин А.М. Насыщенность цвета, контраст насыщенностей и переносимая ими изобразительная информация. // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 3. 15 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2018/03/85975> (дата обращения: 07.04.2021).
- [2] Чмутин А.М. Контраст насыщенностей и яркостный сдвиг: парадоксы Photoshop. // International Journal of Open Information Technologies. 2019. V. 7. № 1. P. 12-24. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.injoit.org/index.php/j1/article/view/632/645/632-2038-1-PB.pdf> (дата обращения: 07.04.2021).
- [3] Белодедов М.В., Зотов Н.М., Хоперсков А.В., Чмутин А.М., Чуйко В.А. Анализ точности преобразования насыщенности цвета в современном программном обеспечении. // Известия вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62. №11. С. 1005-1014. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-11-1005-1014. – Режим доступа: <http://pribor.ifmo.ru/file/article/19245.pdf> (дата обращения: 07.04.2021).
- [4] Бондарь О.В., Чмутин А.М., Чмутин М.А. Алгоритм управления контрастом насыщенностей цифровых изображений и его программная реализация. // Инженерный вестник Дона. 2020. № 5. 16 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6458> (дата обращения: 07.04.2021).
- [5] Технология. Информационные технологии. Система управления. // Википедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 07.04.2021).
- [6] Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т. 3. Оптика. – СПб.: Лань, 2006. 656 с.
- [7] Чмутин А.М. Экспертное исследование изображений на транспорте. // Технические экспертизы на транспорте. / Под общ. ред. Ю.Я. Комарова. – М.: Горячая линия - Телеком, 2020. С. 195.
- [8] Клейн Ф. Высшая геометрия. – М.: Едиториал УРСС. 2004. 400 с.
- [9] Методы компьютерной обработки изображений. / Под ред. В.А. Сойфера – М.: Физматлит, 2003. 784 с.
- [10] Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. – СПб.: НИУ ИТМО, 2008. 192 с.
- [11] Ежова К.В. Моделирование и обработка изображений. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. 93 с.
- [12] Боровкова А.О., Рвачёва О.В., Чмутин А.М. Технология яркостного контрастирования, алгоритм и программа для её реализации. // International Journal of Open Information Technologies. 2019. V. 7. № 11. P. 66-78. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.injoit.org/index.php/j1/article/view/803/805/803-2568-1-PB.pdf> (дата обращения: 07.04.2021).
- [13] Зворыкин В.К., Мортон Д.А. Телевидение. – М.: ИИЛ, 1956. 780 с.
- [14] IEC/4WD 61966-2-1. Multimedia Systems and Equipment. Colour Measurement and Management. Part 2-1. Default RGB Colour Space – sRGB. – Geneva: IEC Publ., 1999. 54 p.
- [15] Using Adobe Photoshop CS5. – San Jose: Adobe Systems Incorporated, 2010. 633 p.
- [16] Кузнецов И.Н. Информация: сбор, защита, анализ. – М.: Яуза, 2001. 93 с.
- [17] Андропова Н.Е., Гребенюк П.Е., Чмутин А.М. Алгоритм и программная реализация управления оттеночным контрастом цифровых изображений. // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4. 14 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3783> (дата обращения: 07.04.2021).
- [18] НД № 2-020101-144. Правила по оборудованию морских судов. Часть III. – СПб.: Российский Морской Регистр, 2021. 48 с.
- [19] Майлис Н.П., Ярмак К.В., Бушуев В.В. Дактилоскопия и дактилоскопическая экспертиза. – М.: Юнити-Дана, 2017. 264 с.
- [20] Российские банкноты образца 1995 года. – М.: Центральный банк Российской Федерации; КОНСАЛТБАНКИР, 1995. 32 с.
- [21] ГОСТ 8.332-78. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. 6 с.
- [22] Long B. Complete Digital Photography. – Boston: Course Technology, 2012. 598 p.
- [23] Lipowski M. Black or white text on a colour background? // Mixable Blog. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mixable.blog/category/photo-and-video/graphic-design> (дата обращения: 07.04.2021).

Color saturation contrast enhancement technology for digital images

O.V. Bondar', A.M. Chmutin, M.A. Chmutin

Abstract – Technological issues of latent graphic information disclosure through the use of images' contrast enhancement are considered assuming the later visual analysis. Methods and tools to control the color saturation contrast are revised from the information point of view. When the analytical representation of control system is pointed to, – the description of color saturation conversion is detailed. When the graphic representation of control system is pointed to, – the description of method to control color saturation contrast is done. When the technological representation of control system is pointed to, – the description of algorithm to control color saturation contrast is revealed. While testing the established virtual-optic contrast-enhancing instrumentation, two concepts of contrast transform brake and accumulation of pixels (whose saturation conversion finishes with the beginning of brake action) are entered into consideration. The role of brake and accumulation in the image contrast formation is shown – edge effects are discussed. For various initial images program operation is illustrated within two more color saturation control modes - reversed and mixed ones. Both are complementary to <Saturation> instrument, used in modern software. The case is illustrated, when contrast-enhancement ratio becomes negative. On the example of only one total contrast component – color saturation contrast – the concept is investigated and two typical contrast analysis tasks are defined. Acquisition of the required graphic information is demonstrated at the solution of each task. As a result, the creation of new information technology is being announced. It differs from the existing one by extra efficiency – we mean expansion of initial images nomenclature – caused by <Saturation> supplement with two new informative processing modes. It differs also by elimination of the possibility to acquire artifacts caused by errors arising from brightness shift and from hue non-uniformity of saturation contrast transform, anyway inherent in all the modern software. Certain recommendations concerning images' contrast analysis application in the sphere of expert activities are outlined.

Keywords – graphic information, visual analysis, latent content, color saturation, saturation contrast, contrast transform, contrast control system, program testing, technology approbation, expert applications.

REFERENCES

- [1] Bondar' O.V., Chmutin A.M. Nasyshhennost' cveta, kontrast nasyshhennostej i perenosimaja imi izobrazitel'naja informacija. // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2018. # 3. 15 s. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://web.snauka.ru/issues/2018/03/85975> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [2] Chmutin A.M. Kontrast nasyshhennostej i jarkostnyj sdvig: paradoksy Photoshop. // International Journal of Open Information Technologies. 2019. V. 7. # 1. P. 12-24. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.injoit.org/index.php/j1/article/view/632/645/632-2038-1-RV.pdf> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [3] Belodedov M.V., Zotov N.M., Hoperskov A.V., Chmutin A.M., Chujko V.A. Analiz tochnosti preobrazovaniya nasyshhennosti cveta v sovremennom programmnom obespechenii. // Izvestija vuzov. Priborostroenie. 2019. T. 62. #11. S. 1005-1014. DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-11-1005-1014. – Rezhim dostupa: <http://pribor.ifmo.ru/file/article/19245.pdf> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [4] Bondar' O.V., Chmutin A.M., Chmutin M.A. Algoritm upravljenija kontrastom nasyshhennostej cifrovych izobrazhenij i ego programmnaja realizacija. // Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. # 5. 16 s. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n5y2020/6458> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [5] Tehnologija. Informacionnye tehnologii. Sistema upravljenija. // Vikipedija. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [6] Frish S.Je., Timoreva A.V. Kurs obshhej fiziki. T. 3. Optika. – SPb.: Lan', 2006. 656 s.
- [7] Chmutin A.M. Jekspertnoe issledovanie izobrazhenij na transporte. // Tehnicheskie jekspertizy na transporte. / Pod obshh. red. Ju.Ja. Komarova. – M.: Gorjachaja liniya - Telekom, 2020. S. 195.
- [8] Klejn F. Vysshaja geometrija. – M.: Editorial URSS. 2004. 400 s.
- [9] Metody komp'juternoj obrabotki izobrazhenij. / Pod red. V.A. Sojfera – M.: Fizmatlit, 2003. 784 s.
- [10] Fisenko V.T., Fisenko T.Ju. Komp'juternaja obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij. – SPb.: NIU ITMO, 2008. 192 s.
- [11] Ezhova K.V. Modelirovanie i obrabotka izobrazhenij. – SPb.: NIU ITMO, 2011. 93 s.
- [12] Borovkova A.O., Rvachjova O.V., Chmutin A.M. Tehnologija jarkostnogo kontrastirovanija, algoritm i programma dlja ejo realizacii. // International Journal of Open Information Technologies. 2019. V. 7. # 11. P. 66-78. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.injoit.org/index.php/j1/article/view/803/805/803-2568-1-RV.pdf> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [13] Zvorykin V.K., Morton D.A. Televidenie. – M.: IIL, 1956. 780 s.
- [14] IEC/4WD 61966-2-1. Multimedia Systems and Equipment. Colour Measurement and Management. Part 2-1. Default RGB Colour Space – sRGB. – Geneva: IEC Publ., 1999. 54 p.
- [15] Using Adobe Photoshop CS5. – San Jose: Adobe Systems Incorporated, 2010. 633 p.
- [16] Kuznecov I.N. Informacija: sbor, zashhita, analiz. – M.: Jauza, 2001. 93 s.
- [17] Andronova N.E., Grebenjuk P.E., Chmutin A.M. Algoritm i programmnaja realizacija upravljenija ottenochnym kontrastom cifrovych izobrazhenij. // Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. # 4. 14 s. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3783> (data obrashhenija: 07.04.2021).
- [18] ND # 2-020101-144. Pravila po oborudovaniju morskich sudov. Chast' III. – SPb.: Rossijskij Morskoj Registr, 2021. 48 s.
- [19] Majlis N.P., Jarmak K.V., Bushuev V.V. Daktiloskopija i daktiloskopicheskaja jekspertiza. – M.: Juniti-Dana, 2017. 264 s.
- [20] Rossijskie banknoty obrazca 1995 goda. – M.: Central'nyj bank Rossijskoj Federacii; KONSALTBANKIR, 1995. 32 s.
- [21] GOST 8.332-78. Svetovye izmereniya. Znachenija odnositel'noj spektral'noj svetovoj jeffektivnosti monohromaticheskogo izluchenija dlja dnevnogo zrenija. – M.: Izd-vo standartov, 1979. 6 s.
- [22] Long B. Complete Digital Photography. – Boston: Course Technology, 2012. 598 p.
- [23] Lipowski M. Black or white text on a colour background? // Mixable Blog. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://mixable.blog/category/photo-and-video/graphic-design> (data obrashhenija: 07.04.2021).