

Точностной анализ преобразования яркости и яркостного контраста в современном программном обеспечении

*Рвачёва Оксана Викторовна
Волгоградский государственный университет
выпускник физического факультета*

*Чмутин Алексей Михайлович
Волгоградский государственный университет
к.т.н., доцент института математики и информационных технологий*

Аннотация

Проведён анализ средств управления яркостью цвета и яркостным контрастом в современном программном обеспечении (ПО) компьютерной графики. Выявлена составляющая погрешности преобразования, заключающаяся в сдвиге насыщенности цвета при вариации яркостных характеристик, угрожающая сохранению изобразительной информации в процессе яркостных преобразований. Её свойства изучены на выборке из 24 программных пакетов. Показано, что существующий инструментарий неадекватен для управления яркостью цвета и яркостным контрастом, что сужает сферу его применения до задач синтеза изображений.

Ключевые слова: преобразование яркости цвета, контраст яркостей, погрешности контрастирования, сдвиг насыщенностей, сохранение оттенков, экспертные приложения.

Accuracy Analysis of Brightness & Brightness Contrast Transform in Contemporary Software

*Rvacheva Oksana Viktorovna
Volgograd State University
graduate of the Physical Faculty*

*Chmutin Aleksey Mikhailovich
Volgograd State University
PhD in optics, associate professor of the Institute for Mathematics & IT*

Abstract

Analysis of means to control color brightness and brightness contrast in contemporary computer graphics software is carried out. Component of transformation error is revealed. It consists in color saturation shift at variation of brightness characteristics, which brings the threat to preservation of graphic information in the course of brightness transformations. Its properties were studied on a set of 24 software packages. It is shown that the existing instrumentation is

inadequate to control both color brightness and brightness contrast. Such a reason narrows the scope of its application to the tasks of image synthesis solely.

Keywords: brightness transform, brightness contrast, contrast enhancement errors, saturation shift, hue preservation, expert applications.

Разрабатываемая в статье проблематика – анализ точности контрастного преобразования цвета, имея в виду последующее сугубо визуальное изучение изображения. Данная публикация призвана осветить один из конкретных путей такого преобразования. Авторы позиционируют свою разработку в сфере виртуальной оптики – научного направления, изучающего свойства изображений с позиций их компьютерной обработки. Но здесь возникает вопрос, как отнести это направление к официальной номенклатуре специальностей [1]? С одной стороны, это метрология (05.11.15) в части "устранения и исключения отрицательных последствий недостоверных результатов". С другой стороны, это оптика (01.04.05) в части "создания основ новых технологий обработки изображений". Учитывая такого рода дилемму, авторы просят рассматривать настоящую статью, как лежащую на стыке двух специальностей (в отрасли технических наук).

Введение

Сегодня одна из актуальнейших проблем компьютерной графики – это выявление недоступной глазу, или латентной, графической информации [2]. Для цифровых фотографических изображений (включая сюда и результаты видеонаблюдения) традиционный путь её выявления – контрастирование. И, на первый взгляд, современное ПО компьютерной графики имеет для этого достаточный (если не избыточный) инструментальный потенциал.

Как следствие, цель настоящей работы – прояснить вопрос, а адекватен ли существующий инструментарий контрастирования и для подобного типа аналитических приложений компьютерной графики. Одна из задач, которые с этой целью нам придётся решить, – исследовать поведение характеристик цвета, не управляемых в процессе вариации яркости и яркостного контраста цифровых изображений (а именно, оттенка цвета и его насыщенности).

Здесь уместно подчеркнуть, что потребностям, обобщаемым понятием синтеза изображений, нынешнее контрастирующее ПО удовлетворяет, скорее всего, полностью или почти полностью. Повторимся, в работе акцентируется другой аспект – их анализ, – иначе говоря, исследование информационного наполнения изображений. Но есть у анализа одна неудобная особенность: в метрологическом смысле при создании (или воспроизведении) изображения имеется возможность сличать его с эталоном (оригиналом), а при анализе эталон, как правило, либо отсутствует, либо недоступен.

Закономерный вопрос, почему и в контексте сказанного, и в названии статьи помимо яркости обособлен именно яркостный контраст? Потому что в ПО компьютерной графики под контрастом (управляемым программным инструментом <Contrast>) принято – как в отечественной литературе [3], так и за рубежом [4] – понимать исключительно его яркостную составляющую. (Хотя с позиций анализа изобразительной информации терминологически это

спорно, но дискуссия – отдельная тема [5], более теоретизированная и, соответственно, слабее коррелирующая с настоящим исследованием. Иные контрастирующие инструменты – преобразование оттенка и насыщенности цвета – также выходят за рамки текущего рассмотрения.) Таким образом, по умолчанию программный инструмент <Contrast> следует позиционировать исключительно как яркостный. Об этом же говорит и то, что в подавляющем большинстве пакетов современного ПО инструмент <Contrast> реализуется в связке именно с инструментом <Brightness>, но никогда не с <Saturation> и <Hue>. Это интуитивно понимаешь и с точки зрения практики контрастного преобразования цвета: на глаз человека-оператора максимально возможный контраст – именно яркостный, а не какой-либо из хроматических.

Из двух возможных механизмов проявления погрешностей [6] в статье затрагивается один только сдвиговый. Практическая ценность результатов точностного анализа состоит в оценке сдвигов. Оценка – помогает выявить сценарий возникновения сдвигов. Эта информация, в свою очередь, является предпосылкой для создания как бессдвиговых алгоритмов, так и алгоритмов компенсации сдвигов.

Предмет и метод исследования

Сначала может показаться парадоксальным то, что в данной работе предметом исследования являются не вынесенные в заголовок яркость цвета с яркостным контрастом, а хроматические характеристики цвета – оттенок и насыщенность. Вопрос следует прояснить сразу. Преобразование яркостного контраста – это всего лишь параметрическое (относительно опорной точки) преобразование яркости. На правило преобразования яркостей ограничений никаких не существует; его выбор ничем не регулируется и яркость может меняться любым потребным способом – сдвигом, линейно/нелинейно, etc. А вот оттенок и насыщенность цвета – те нормируются (нулевым приращением исходных значений). Поэтому их и предстоит исследовать в первую очередь, оставляя особенности преобразования собственно яркости до публикации обзорного характера.

Пожалуй, единственный возможный – применительно к виртуальной оптике – путь, чтобы изучить точность преобразования яркости и яркостного контраста, – экспериментальный. Метод такого исследования заключается в испытании штатного инструментария современного ПО на испытательных изображениях, проще всего – идентичных. Из двух типовых испытательных процедур – апробации и тестирования – использовать предполагается только одну, последнюю. (Тестированием в виртуальной оптике следует полагать испытание программного продукта на модельных изображениях; апробацией – на натуральных изображениях. В изображениях модельных практически на 100% вырождена стохастическая, шумовая, составляющая изобразительной информации.) Последующая обработка результатов включает определение RGB-координат и вычисление оттенков и насыщенностей получаемого цвета. Поскольку исходные цвета модельных полей известны, производится поиск (сличение изначальных и результирующих значений характеристик цвета) и оценка возможных погрешностей.

Материал и технология исследования

Логично будет зафиксировать разницу между управлением яркостью и/или яркостным контрастом, специально предназначенным для этого – титульным – программным инструментом и побочным эффектом изменения яркости и/или яркостного контраста в процессе функционирования какого либо иного инструментария. Последний в пределах этой статьи останется вне зоны нашего внимания. Итак, объект испытаний – это исключительно инструменты <Brightness> и <Contrast> универсального ПО компьютерной графики. Данные о совокупности изучаемых объектов формируют материал исследования. Номенклатура и реквизиты исследованного программного продукта приведены в табл. 1.

Таблица 1. Контрастирующее ПО компьютерной графики [2]

Программный пакет	Версия	Год выпуска
Advanced Batch Converter	v. 7.6	2013
ACDSee Pro	v. 5.0.110	2013
ArcSoft PhotoStudio	v. 6.0.9.151	2008
AVS Photo Editor	v. 2.0.8.128	2012
CorelDRAW X4	v. 14.0.0.567	2008
Focus Photoeditor	v. 6.5.1	2012
FastStone Image Viewer	v. 3.5	2007
GIMP	v. 2.8.0	2012
IrfanView	v. 4.35	2012
Microsoft Photo Editor	v. 3.01	1998
mtPaint	v. 3.31	2009
Nikon Capture NX2	v. 2.3.4	2009
Microsoft Office Picture Manager	v. 14.0.6015.1000	2010
OpenOffice	v. 3.2.0	2008
Paint.NET	v. 3.5.5	2010
PhotoFiltre Studio	v. 10.4.1	2010
PhotoImpact X3	v. 13.00.0000.0	2007
PhotoShop	v. 5.5	1999
PhotoShop CS5	v. 12.0	2010
HDR PhotoStudio	v. 2.12.27.2521	2009
Pixlr Photo editor	on-line	2013
Roxio Photo Suite	v. 8	2010
SunlitGreen Photo Editor	v. 1.4.0	2010
XnView	v. 1.98.7	2012

Цветом в табл. 1 выделены пакеты с <Contrast> и <Brightness>, связанными между собой отдельным всплывающим окном.

Материалом, на базе которого выполнялось исследование, послужила уже изучавшаяся ранее выборка из 24-х пакетов современного графического

ПО, представляющих собой широкий срез программного продукта от самых разных производителей, и актуализированного в самом разном юридическом формате, и самого разного предназначения (file converter, photo organizer, image viewer, photo editor, etc., graphics suite, photo studio, ...), объединённых наличием в своём составе инструментов для управления яркостью цвета и яркостным контрастом пикселей цифрового изображения.

Испытательному изображению придана форма квадрата, верхняя часть которого закрашена цветом с координатами $R=95$, $G=125$, $B=85$; нижняя – $R=105$, $G=125$, $B=110$. Оттенок сверху выражается цветовыми координатами $R=64$, $G=255$, $B=0$; снизу – $R=0$, $G=255$, $B=64$ (там, где не требуется изменять значение оттенка, например, при вариации яркости и яркостного контраста, его проще описывать 8bitRGB-единицами, а не градусами дуги). Насыщение цветом в верхней части изображения равно 0,32; в нижней – 0,16. Яркости – 0,1775 и 0,1879, соответственно. Его внешний вид иллюстрирует рис. 1.



Рис. 1. Испытательное изображение

Такое испытательное изображение (тест-объект) также использовалось ранее с теми же 24 программными пакетами, но для целей изучения другого – не яркостного – инструментария.

Цвета полей испытательного изображения были рассчитаны так, чтобы каждый из трёх перцепционных контрастов незначительно превышал порог соответствующей контрастной чувствительности для человеческого зрения:

$$\Delta H = |H_B - H_H| = 128;$$

$$\Delta S = |S_B - S_H| = 0,16;$$

$$\Delta Y = |Y_B - Y_H| = 0,01.$$

Цвета выбраны таким образом, чтобы как яркости, так и их контраст можно было бы существенно менять по обе стороны от исходных значений. Иными словами, оттенки, насыщенности и яркости смоделированы так, чтобы по возможности RGB-координаты были близки к середине своего диапазона – во избежание краевых эффектов при цветообразовании (когда, например, одна цветовая координата уже достигла своего предела, но две оставшиеся ещё продолжают меняться в соответствии с задаваемыми в окне <Brightness> либо <Contrast> числами). Рассмотрим их суть при контрастировании.

Краевые эффекты присущи только инструментам с линейной шкалой, – <Brightness>; <Contrast>; <Saturation>, – при управлении оттенками цвета, имеющими круговую шкалу, они не наблюдаются. Проявляются краевые эффекты в виде катастрофической смены сценария цветообразовании: все графики перцепционных характеристик цвета претерпевают излом с началом

торможения наименьшей или наибольшей RGB-координаты на значениях $\text{Extr}(8\text{bit}RGB)=0; 255$. Момент появления краевого эффекта зависит от цвета испытательного изображения и соотносится с «силой» его преобразования и диапазонами $\langle \text{Brightness} \rangle$ и/или $\langle \text{Contrast} \rangle$, заложенными в код конкретного программного пакета. Таким образом, за счёт краевых эффектов могут резко поменяться не только определённые цвета, но и контрасты изображения, что иногда приводит к искажению либо утрате формной информации. Исходя из сказанного, испытание $\langle \text{Brightness} \rangle$ и $\langle \text{Contrast} \rangle$ проводилось в отсутствие краевой (композиция обусловленных краевыми эффектами скачков оттенка и насыщенности) погрешности.

Алгоритм испытаний при анализе преобразования яркостей включает в себя следующие операции:

- обработка испытательного изображения инструментом $\langle \text{Brightness} \rangle$ одной из программ табл. 1 с минимальным шагом изменения яркости в пределах свойственного этой программе диапазона управления яркостью, исключая его зоны, где для испытательного изображения проявляется краевой эффект;

- измерение 8bitRGB-координат, обоих полей для каждого результирующего изображения;

- выявление наименьшей $\text{Min}(RGB)$, промежуточной $\text{Med}(RGB)$ и наибольшей $\text{Max}(RGB)$ RGB-координат цвета обоих полей каждого из результирующих изображений;

- вычисление RGB-координат оттенков цвета обоих полей для каждого из результирующих изображений как:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{MinMin}(RGB) \text{ è è è } \text{MaxMax}(RGB); \\ \text{MaxMax}(RGB) \times \frac{\text{Med}(RGB) - \text{Min}(RGB)}{\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)}, \\ \text{MaxMax}(RGB) \text{ è è è } \text{MinMin}(RGB), \end{array} \right. \quad (1)$$

где $\text{MinMin}(RGB)$ и $\text{MaxMax}(RGB)$ – это наибольшие возможные значения 8bitRGB-координат. Наименование координаты (R , G или B) соотносится с её значением (определяемым в системе (1) той или иной строкой) очевидным правилом: наименьшей координате цвета отвечает наименьшая координата оттенка, промежуточной – промежуточная, наибольшей – наибольшая [6];

- вычисление насыщенностей цвета обоих полей каждого результирующего изображения как:

$$S' = \frac{\text{Max}(RGB) - \text{Min}(RGB)}{\text{Max}(RGB)}; \quad (2)$$

- сравнение оттенков и насыщенностей цвета обоих полей испытательного изображения и результирующего. В случае значимого различия:

- вычисление погрешностей преобразования насыщенностей цвета:

$$\delta(S) = S' - S, \quad (3)$$

где S – насыщенности цвета обоих полей результирующего изображения при нулевом изменении яркости, S' – наиболее отличающиеся от исходных насыщенности цвета обоих полей результирующего изображения;

- переход к началу цикла и его выполнение со следующей программой из табл. 1.

В целом алгоритм испытаний при анализе преобразования яркостного контраста аналогичен описанному выше. Отличается только одна формула – вместо (3) используется:

$$\delta(\Delta S) = \Delta S' - \Delta S, \quad (4)$$

где ΔS – контраст насыщенностей цвета для обоих полей результирующего изображения при нулевом изменении яркостного контраста, $\Delta S'$ – контраст насыщенностей цвета обоих полей результирующего изображения, наиболее отличающийся от исходного.

Результаты исследования

Результаты исследования представлены графически: на рис. 2 и рис. 3 – для инструментов преобразования яркости; на рис. 4 и рис. 5 – для инструментов преобразования яркостного контраста. У всех графиков по осям абсцисс отложены показания в соответствующем (<Brightness> или <Contrast>) окне программы, характеризующие динамику этих процессов цветопреобразования, или «силу» воздействия того или иного инструмента на испытательное изображение. По осям ординат – результирующие оттенки и насыщенности его цвета. При обычном шкалировании на нулевой абсциссе результирующие оттенки и насыщенности совпадают с исходными. Разница ординат кривых на фиксированном значении абсциссы отображает контраст цветовой характеристики.

На всей сотне графиков верхние кривые относятся к более тёмному верхнему полю испытательного изображения, нижние – к его более светлому нижнему полю. Здесь и далее графики ограничены значениями цветовых координат $\text{Minmin}(\text{RGB})=0$ и $\text{Maxmax}(\text{RGB})=255$, чтобы исключить краевые эффекты. Лишь в редких случаях для испытательного изображения на рис 1. эти эффекты не проявляются сразу у обоих испытуемых инструментов:

- ACDSee;
- ArcSoft PhotoStudio;
- PhotoShop CS5,

что легко заметить по протяженности соответствующих графиков от левого до правого конца по обеим шкалам.

Поведение оттенков цвета испытательного изображения при вариации его яркости (значения задаются в окне <Brightness>) демонстрируется рис. 2; при вариации яркостного контраста (значения задаются в окне <Contrast>) – рис. 4. Сдвиг насыщенностей цвета испытательного изображения в процессе вариации его яркости (окно <Brightness>) демонстрируется рис. 3; в процессе вариации яркостного контраста (окно <Contrast>) – рис. 5.

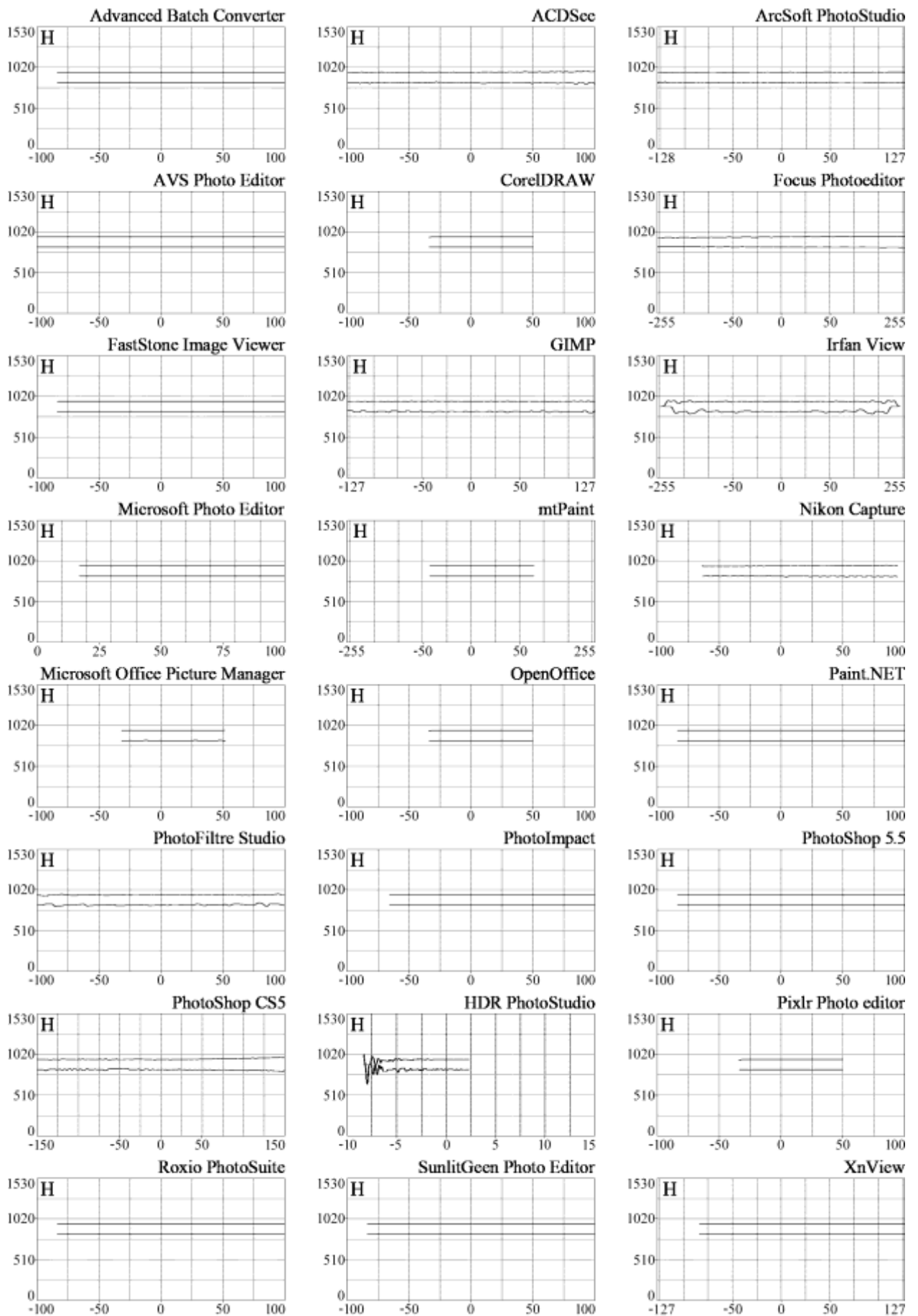


Рис. 2. Оттенки цвета в зависимости от <Brightness>

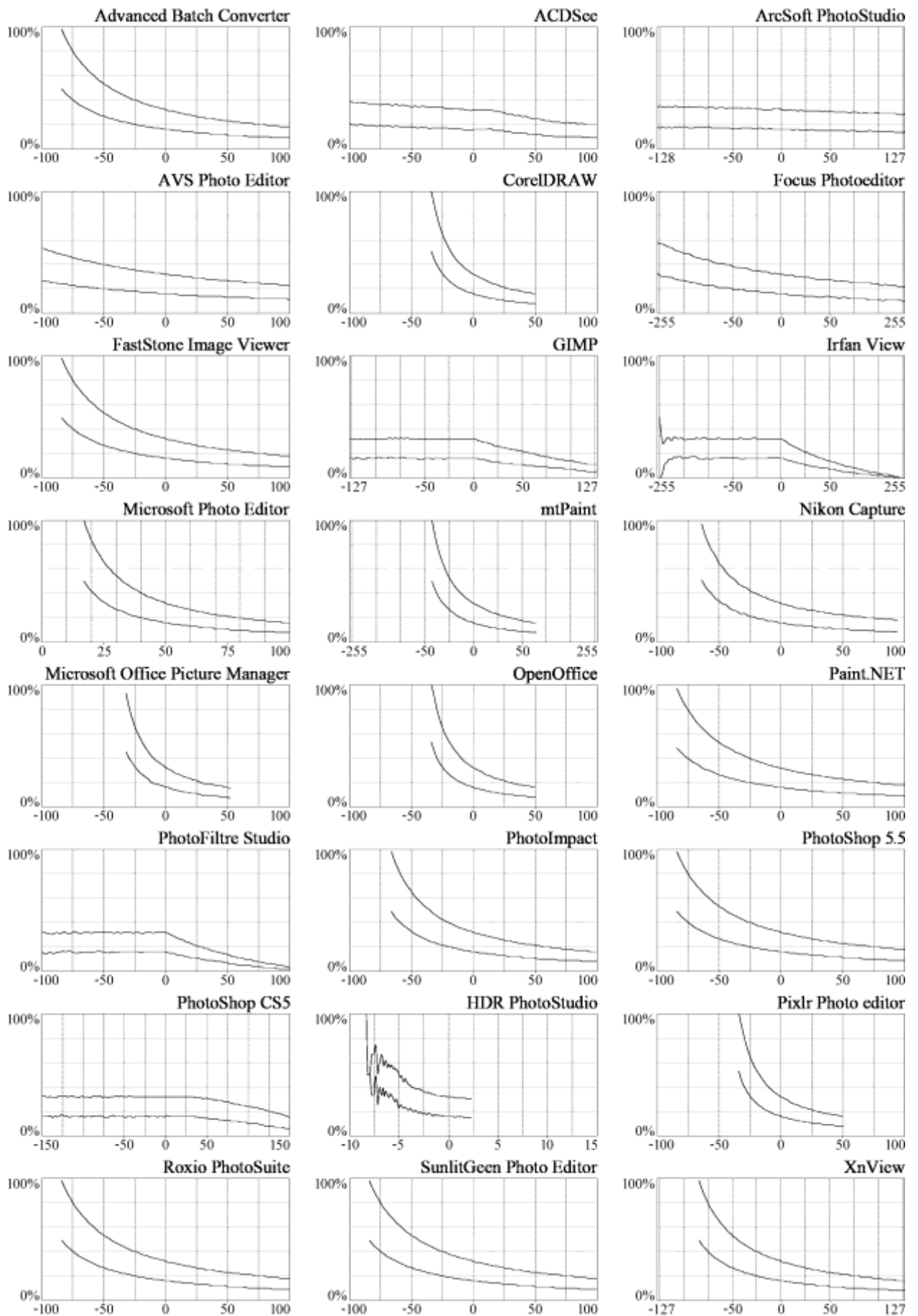


Рис. 3. Насыщенности цвета в зависимости от <Brightness>

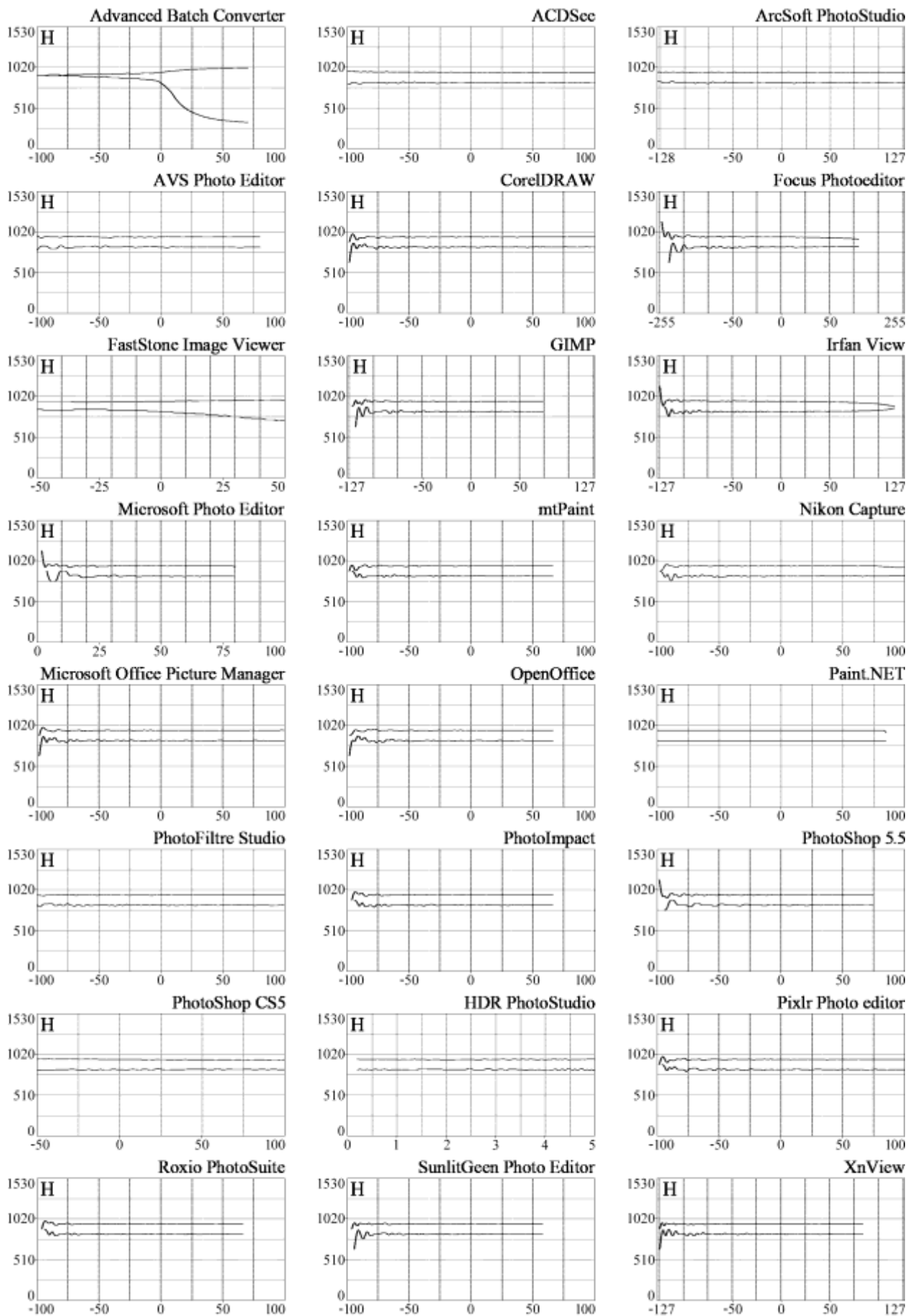


Рис. 4. Оттенки цвета в зависимости от <Contrast>

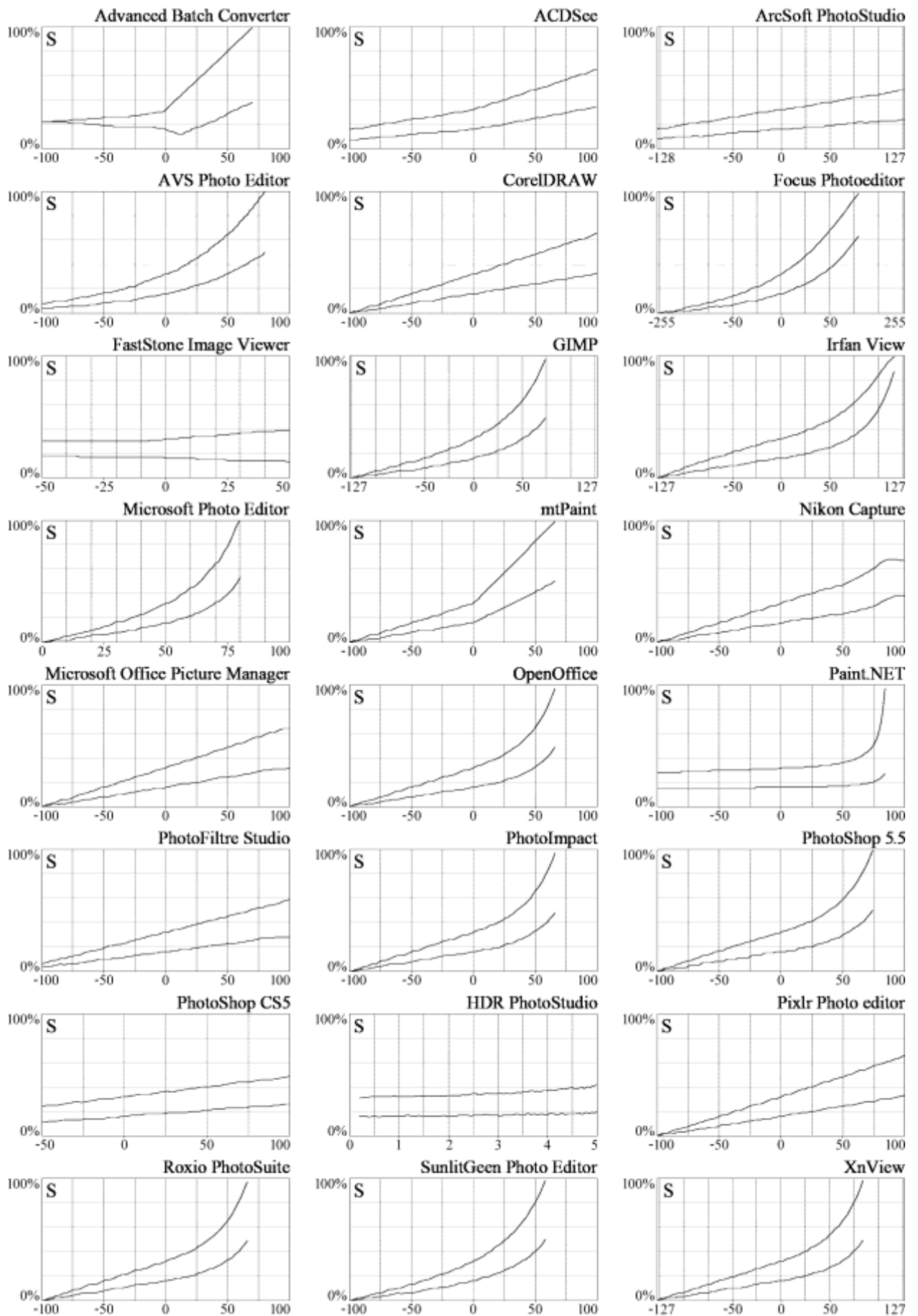


Рис. 5. Насыщенности цвета в зависимости от <Contrast>

Обсуждение результатов и выводы

Сначала сфокусируем внимание на форме графиков, характеризующих насыщенность результирующего цвета – рис. 3 и рис. 5. Они демонстрируют выраженный сдвиг насыщенностей относительно исходных значений и при увеличении, и при уменьшении управляющего воздействия инструментов <Brightness> и <Contrast>. В отсутствие сдвига графики были бы строго прямолинейными и проходили бы параллельно оси абсцисс (см. рис. 6).

Потом зададимся вопросом, а почему сдвиг должен отсутствовать? Для ответа нам придётся затронуть информационную феноменологию контраста. Каждый частный (оттенков, насыщенностей или яркостей) контраст имеет ту или иную причину для своего появления: окраску, загрязнение, засветку и их вариацию по полю изображения. Поэтому наращивается всегда только один частный контраст с тем, чтобы далее, пользуясь законами оптики [7], искать механизм его формирования. Если наращивать сразу два частных, то второй механизм может замаскировать искомый. Это значит, при контрастировании изображения по выбранной характеристике цвета сверх порога визуальной чувствительности нужно быть уверенным, что остальные характеристики не изменяются, тогда и остальные контрасты, оставаясь на исходном уровне, не смогут помешать поиску информации, переносимой усиленным контрастом.

В теории любые отклонения насыщенности недопустимы, поскольку противоречат лемме об управлении частными контрастами, доказанной в [5]: «Если сохранять исходными значения двух любых характеристик цвета, то при вариации физического контраста третьей характеристики её визуальный контраст будет изменяться однозначно». (Распространение леммы на случай иного, в отличие от сдвигов, типа погрешностей [6] – неравномерностей титульных преобразований – для целей настоящей статьи не актуально). Так что метрологически эталон сдвига насыщенностей – нуль. Получается, что помимо полезного изменения яркости и яркостного контраста имеется ещё и паразитный сдвиг цветовых насыщенностей и их контраста. И это даёт слабо предсказуемый результат для контраста полного, а ведь именно его и воспринимает человеческое зрение – разложение полного контраста на три частных (оттенков и/или насыщенностей и/или яркостей) суть процесс не физиологический, а сугубо ментальный. И, к примеру, вклад паразитного частного контраста в полный может оказаться отрицательным, тогда полный контраст останется всё так же невидимым. Однако, учитывая ограниченный формат публикации, развивать эти рассуждения, сопровождая надлежащей аргументацией (вкуче с большим объёмом иллюстративного материала) нам, по-видимому, придётся уже в следующей статье.

Наконец, проведём числовые оценки. Пиковые значения погрешности цветового насыщения, полученные в 24-х программных пакетах, сведены в таблицу 2. Здесь числители отражают паразитный прирост насыщенности цвета в максимуме шкал у соответствующих инструментов <Brightness> и <Contrast>; знаменатели – в их минимуме; знаки говорят об увеличении или уменьшении насыщенности каждого из полей испытательного изображения.

Таблица 2. Сравнительный сдвиг цветовых насыщенностей

Программный пакет	<Brightness>		<Contrast>	
	прирост S , % к исходному (max/min)		прирост S , % к исходному (max/min)	
	верхнее поле	нижнее поле	верхнее поле	нижнее поле
Advanced Batch Converter	-44/+206	-44/+206	+209/-31	+138/+38
ACDSee Pro	-38/+22	-44/+31	+103/-50	+113/-56
ArcSoft PhotoStudio	-9/+6	-13/+13	+50/-50	+50/-50
AVS Photo Editor	-28/+66	-31/+69	+213/-75	+213/-75
CorelDRAW X4	-50/+213	-50/+219	+106/-100	+106/-100
Focus Photoeditor	-31/+81	-38/+106	+206/-100	+294/-100
FastStone Image Viewer	-44/+206	-44/+206	+22/-6	-19/+13
GIMP	-66/0	-69/0	+203/-100	+206/-100
IrfanView	-100/+56	-100/-100	+209/-100	+444/-100
Microsoft Photo Editor	-50/+213	-50/+213	+213/-100	+231/-100
mtPaint	-50/+213	-50/+213	+209/-100	+213/-100
Nikon Capture NX2	-44/+203	-44/+219	+109/-100	+138/-100
Microsoft Office Picture Manager	-53/+191	-56/+181	+100/-100	+100/-100
OpenOffice	-50/+213	-50/+231	+203/-100	+206/-100
Paint.NET	-44/+203	-44/+200	+203/-13	+69/-6
PhotoFiltre Studio	-91/0	-88/0	+84/-81	+75/-81
PhotoImpact X3	-50/+206	-50/+206	+203/-100	+200/-100
PhotoShop	-44/+206	-44/+206	+209/-100	+213/-100
PhotoShop CS5	-53/+3	-63/0	+53/-25	+63/-31
HDR PhotoStudio	-6/+213	-6/+213	+31/-3	+25/0
Pixlr Photo editor	-50/+213	-50/+231	+106/-100	+106/-100
Roxio Photo Suite	-44/+206	-44/+206	+203/-100	+206/-100
SunlitGreen Photo Editor	-44/+206	-44/+206	+206/-100	+213/-100
XnView	-50/+206	-50/+206	+206/-100	+206/-100

Обратимся к числам, приведённым в таблице. Заметно, что погрешности, как правило, существенны – сумма их модулей в максимуме и в минимуме шкал превышает 50%. Там же, где они малы (ArcSoft PhotoStudio, FastStone Image Viewer, HDR PhotoStudio), может играть роль сильно растянутый (и не всегда растянутый равномерно) масштаб шкалирования <Brightness> и <Contrast>. При многократном применении таких «слабых» инструментов погрешности увеличиваются – по модулю – до приблизительно тех же значений, что и у инструментов «сильных». Это характерно как для падения кривых (случай увеличения <Brightness>), так и для их роста (случай увеличения <Contrast>).

Естественно, что данные оценки применимы лишь к испытательному изображению на рис. 1, и для других пар цветов будут, скорее всего, совсем другие. Могут оказаться и значительно большими, и ничтожными. Но теперь уже основная погрешность у контрастирующего инструментария при любом способе точностного обобщения экспериментальных данных на континуум исходных цветов [8] никогда не окажется равной нулю.

Пиковые значения погрешности для контраста цветового насыщения, полученные в 24-х программных пакетах, сведены в таблицу 3. Числителем точно так же отображается паразитный прирост контраста насыщенностей в максимуме шкал <Brightness> и <Contrast>; знаменателем – в их минимуме. А их знаки свидетельствуют об увеличении (либо уменьшении) контраста насыщенностей между полями испытательного изображения по сравнению с исходным значением.

Таблица 3. Сравнительный сдвиг контраста цветовых насыщенностей

Программный пакет	<Brightness>	<Contrast>
	прирост ΔS , % к исходному (max/min)	прирост ΔS , % к исходному (max/min)
Advanced Batch Converter	-44/+206	+281/-100
ACDSee Pro	-31/+13	+94/-44
ArcSoft PhotoStudio	-6/0	+50/-50
AVS Photo Editor	-25/+63	+213/-75
CorelDRAW X4	-50/+206	+106/-100
Focus Photoeditor	-25/+56	+119/-100
FastStone Image Viewer	-44/+206	+63/-25
GIMP	-63/0	+200/-100
IrfanView	-100/+213	-25/-100
Microsoft Photo Editor	-50/+213	+194/-100
mtPaint	-50/+213	+206/-100
Nikon Capture NX2	-44/+188	+81/-100
Microsoft Office Picture Manager	-50/+200	+100/-100
OpenOffice	-50/+194	+200/-100
Paint.NET	-44/+206	+338/-19
PhotoFiltre Studio	-94/0	+94/-81
PhotoImpact X3	-50/+206	+206/-100
PhotoShop	-44/+206	+206/-100
PhotoShop CS5	-44/+6	+44/-19
HDR PhotoStudio	-13/+213	+38/-6
Pixlr Photo editor	-50/+194	+106/-100
Roxio Photo Suite	-44/+206	+200/-100
SunlitGreen Photo Editor	-44/+206	+200/-100
XnView	-50/+206	+206/-100

Также, как и в предыдущей таблице, большинство погрешностей заметны. А если изредка попадаются незначительные числа, то они обычно коррелируют со «слабыми» <Brightness> и <Contrast>. Как правило, насыщенности цвета и их контраст меняются в сторону, противоположную яркости, управляемой с помощью инструментов <Brightness>. Наблюдается и обратная динамика – спутность – насыщенностей и их контраста с воздействием инструментов <Contrast>. Причины такой закономерности мы не смогли установить ни по [4], ни по много более лаконичной технической документации на прочий программный продукт, поэтому пока что воздержимся от их обсуждения и комментариев.

Теперь можно сосредоточиться на результатах исследования динамики оттенков результирующего цвета. В отличие от насыщенностей цвета (рис. 3; рис. 5) графики рис. 2; рис. 4, напротив, демонстрируют удовлетворительное соответствие механизмов яркостного контрастирования лемме [5]: линии для оттенков верхнего и нижнего полей идут параллельно, а кривые у Advanced Batch Converter (первый график на рис. 4) – явная ошибка. Но, скорее, не программная, а алгоритмическая. Дребезг, заметный, как правило, в левой части графиков, есть следствие дискретного представления RGB-координат, и легко устраним переходом к 48bitRGB (правда, такая возможность имеется всего лишь у каждого пятого пакета программ из перечисленных в табл. 1). Прочие немногочисленные огрехи для практического контрастирования по сравнению с данными табл. 2 и табл. 3 можно считать ничтожными.

Обсудив свойства хроматических характеристик цвета в зависимости от <Brightness> и <Contrast> современного ПО целесообразно посмотреть на примере, к чему же приводят яркостные и контрастирующие процедуры в отсутствие погрешностей? На рис. 6 показано как (по лемме [5]) должны себя вести оттенок и насыщенность цвета вне зависимости от оцифровки шкал <Brightness> и <Contrast>.

(В примере не регламентируется скорость изменения ни для яркости, ни для яркостного контраста. И, тем более, здесь не затрагивается вопрос о функциях преобразования яркости и яркостного контраста, поскольку:

- выбор закона функционирования <Brightness> или <Contrast> это всецело предпочтение разработчика ПО;
- какой из них лучше – вопрос спорный;
- в нашей статье упор сделан на бесспорные погрешности преобразования – сдвиги хроматики, ну а ахроматические функции преобразования яркости ошибочными быть не могут.)

Сверху – развёртки испытательного изображения (рис. 1): справа обе развёртки кончаются по достижении либо максимальной RGB-координатой значения 255, либо минимальной – нуля; слева развёртка <Brightness> кончается обнулением минимальной RGB-координаты. Снизу – графики зависимостей оттенка и насыщенности цвета от <Brightness> и <Contrast> (для обоих инструментов графики идентичны). Верхняя линия на графике H соответствует нижней половине развёрток, верхняя на графике S – верхней.

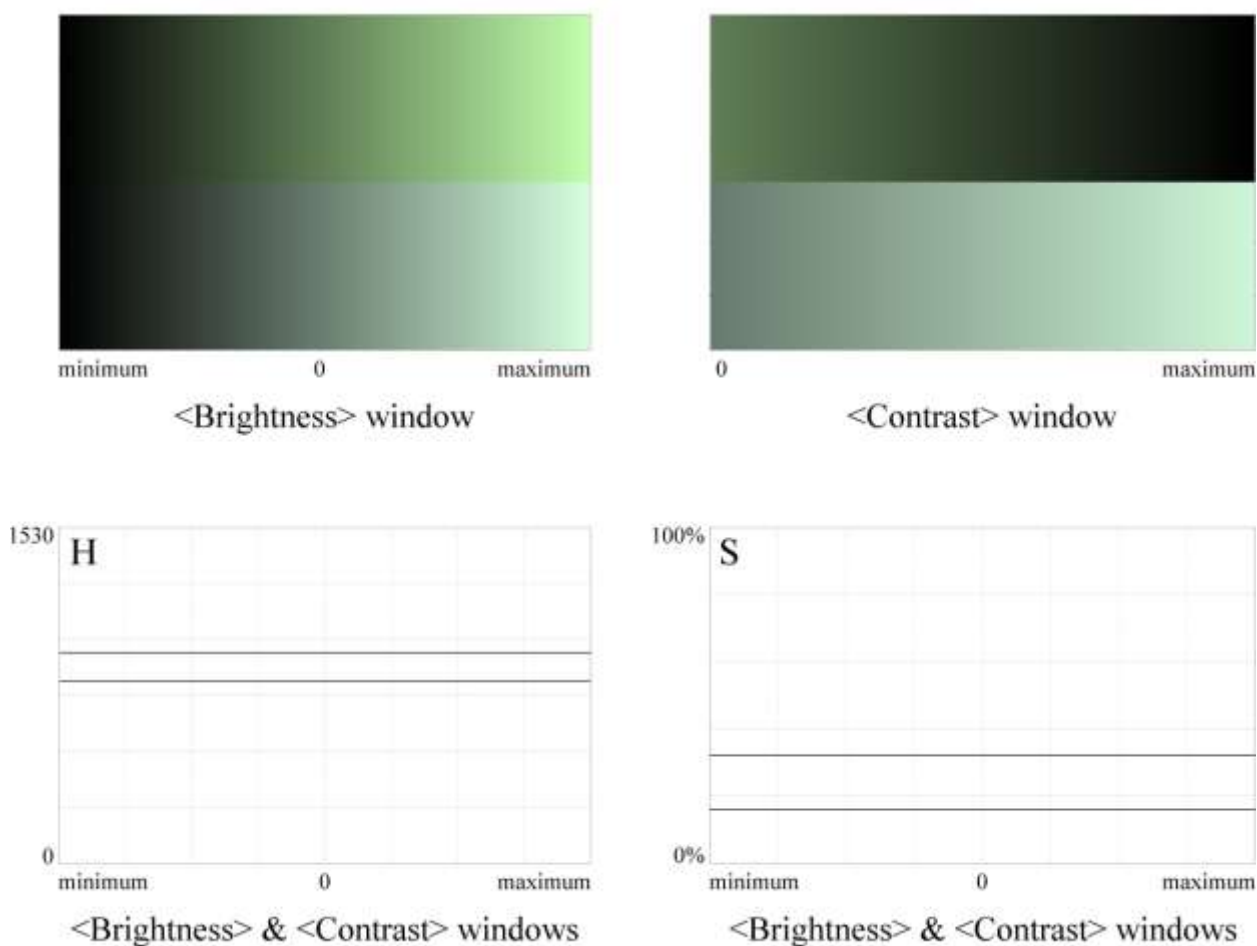


Рис. 6. Случай отсутствия сдвиговых погрешностей

Как видим на рис. 6, при изменении «идеальным» (в смысле не отягощенным погрешностями) программным инструментом яркости цвета от минимума до максимума ни оттенок, ни насыщенность цвета не должны меняться. Точно так же при изменении контраста яркостей не должны меняться ни контрасты оттенков, ни контрасты насыщенностей цвета. Наличие подобных изменений хроматики и даёт право говорить о соответствующих погрешностях – само существование каждой погрешности зиждется на факте ненулевого сдвига.

По итогам обсуждения результатов можно сформулировать следующие выводы:

1. Имеют место погрешности не управляемых яркостным инструментарием хроматических характеристик цвета;
2. Обнаруженные погрешности проявляются в сдвиге насыщенности цвета у результата преобразования (повсеместно) и сдвиге оттенка (эпизодически);
3. Оценки погрешностей значимы.

Таким образом, инструменты управления яркостью и/или яркостным контрастом изученных 24 программных пакетов современного графического ПО небезупречны. Как результат, учитывая представительность выборки в табл. 1, допустимо предположить, что выявленные погрешности возможно и

повсеместны. Эта ситуация грозит множественными артефактами обработки. Артефактами разнообразными:

- по виду изобразительной информации артефакты дифференцируются на цветовые и формные;
- по каналу передачи информации обычно выделяют один яркостный и два хроматических артефакта;
- по своему проявлению артефакты могут выражаться в искажении и утрате информации;
- интерпретация артефактов бывает истинной либо ложной. Интерпретация правильная – единственная, но число возможных вариантов интерпретации ошибочной ничем не лимитируется.

В том числе скрытыми, когда артефакт имеет место, но становится визуально различим только впоследствии при проведении какой либо другой – пусть даже и вполне адекватной – процедуры обработки изображения.

Заключение

В полном соответствии с методологией Дейкстры «As I have now said many times and written in many places: program testing can be quite effective for showing the presence of bugs, but is hopelessly inadequate for showing their absence» [9] точностное исследование контрастирующего инструментария уже зарекомендовавшего себя (минимум 10 лет эксплуатации) графического ПО продемонстрировало наличие ряда неожиданных погрешностей. Правда, все обнаруженные погрешности критичны в задачах анализа, а не синтеза графической информации, тогда как современное ПО общего пользования не настолько, может быть, и универсально. Оно же в целом предназначено для создания (в крайнем случае – специализированное – для воспроизведения) изображений.

И не факт, что этим "аналитические" погрешности контрастирующего инструментария исчерпываются. Остаётся, к примеру, открытым вопрос о неравномерностях (в первую очередь – оттеночной) преобразования яркости. Поэтому логично очертить направление дальнейших работ, как исследование динамических свойств управляющих яркостью и/или яркостным контрастом инструментов современного графического ПО.

Не стоит забывать, что представленное решение частной задачи – хоть и заметный, но только один из шагов к цели, декларированной во введении. Да, часть контрастирующих инструментов – яркостные – неадекватна для аналитики. Принимая во внимание материалы [6], другая часть – управление цветовой насыщенностью с её контрастами – тем более. Остаётся испытать инструменты управления цветовыми оттенками и инструменты управления контрастами оттенков, if any.

Работа может представлять интерес как разработчикам перспективного для аналитики графического ПО, так и уже использующим существующее – практикующим экспертам-криминалистам. Поскольку если не столько среди пользователей изобразительной информации, то среди заказчиков провести исследование изображений (уже практически только цифровых) сегодня на первые места выходит суд [10].

Библиографический список

1. Паспорта научных специальностей. ВАК при Минобрнауки РФ. [Электронный ресурс]. URL: <http://vak.minobrnauki.gov.ru> (дата обращения: 02.09.2023).
2. Чмутин А.М. Экспертное исследование изображений на транспорте. // Технические экспертизы на транспорте. / Под общ. ред. Ю.Я. Комарова. – М.: Горячая линия - Телеком, 2020. С. 312.
3. Абламейко С.В., Лебедев В.И., Лагуновский Д.М. Автоматический анализ и контроль изображений. – Минск: ИТК АН Беларуси, 1993. 95 с.
4. Adobe Photoshop Help. San Jose: Adobe Systems Inc., 2019. 1007 p.
5. 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]. URL: <http://www.injoit.org/index.php/j1/article/view/632/645/632-2038-1-PB.pdf> (дата обращения: 02.09.2023).
6. Белодедов М.В., Чмутин А.М. Исследование точности контрастного преобразования цветовой насыщенности цифровых изображений. // Инженерный вестник Дона. 2021. № 11. 21 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2021/7264>. (дата обращения: 02.09.2023).
7. Москалёв В.А., Нагибина И.М., Полушкина Н.А., Рудин В.Л. Прикладная физическая оптика. / Под общ. ред. В.А. Москалёва. СПб.: Политехника, 1995. 528 с.
8. Зайдель А.Н. Ошибки измерения физических величин. СПб.: Лань, 2009. 112 с.
9. Dijkstra E.W. A Discipline of Programming. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1976. 217 p.
10. Casey E. Digital Evidence and Computer Crime. London: Elsevier, 2011. 807 p.