

## ВЕРИФИКАЦИЯ ЦВЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ НА СЛОЖНЫХ СЦЕНАХ

Анатолий Протосавицкий, Екатерина Горшкова,  
Дмитрий Пилютник, Роман Телятников, Иван Шумский

**Аннотация:** В данном докладе представлен метод описания цветных объектов на сложных сценах, а также алгоритмы сравнения таких объектов в различных условиях освещения. Описанные алгоритмы были разработаны после анализа большого количества различных изображений в нескольких цветовых моделях при решении задачи распознавания объектов. Размеры объектов, их форма и цвет могут быть произвольными. Методы выделения объектов могут отличаться от рассматриваемых.

**Ключевые слова:** цветные объекты, освещённость.

**ACM Classification Keywords:** algorithms, verification

---

### Введение

На данный момент всё большее распространение получают цветные цифровые фото- и видеокамеры. Это и системы видео наблюдения, и медицинское оборудование, и многое другое. Их использование в свою очередь приводит к необходимости анализа объектов на сложных цветных сценах. Эффективные методы описания цветных объектов необходимы при решении таких задач как распознавание, верификация и многих других. Существуют различные подходы и методы для описания и выделения объектов произвольной формы, размеров и цвета, и под каждую задачу разрабатываются алгоритмы, которые дают приемлемые результаты для конкретных условий их эксплуатации. Причинами, которые могут влиять на устойчивость работы таких систем, являются изменения условий освещённости (его интенсивность и спектр), цветовой разброс однотипных объектов и пр.

Представленный в данной работе алгоритм позволяет производить сравнение объектов при различной освещённости, что значительно повышает устойчивость работы подобных систем. Также он позволяет настраивать чувствительность к разбросу цветового тона, яркости и насыщенности. Разработка алгоритма производилась для решения задачи распознавания и верификации документов (паспортов, идентификационных карт и др.) по их цветным фотографическим изображениям. Особенностями данной задачи является то, что местоположение цветных объектов на изображении является постоянным, что позволяет использовать простую схему описания изображения документа в целом.

На изображениях документов зачастую присутствуют блики, голограммы и другие элементы, которые делают невозможным выделение структурных особенностей. К тому же многие документы имеют схожий формат заполнения, и отличаются лишь по цвету. Указанные факторы ухудшают работу структурных алгоритмов распознавания. Именно поэтому возникла задача сравнения цветных изображений, вариант решения которой представлен в данном докладе.

---

### Обоснование выбора цветовой модели

Не секрет, что большинство современных цветовых моделей ориентированы либо на устройства цветовоспроизведения, либо на определённые прикладные задачи, когда работа с цветом является непосредственной целью. [Гонсалес Вудс, 2006] Аппаратно-ориентированными цветовыми моделями, наиболее часто используемыми на практике, являются модель RGB для цветных мониторов и широкого класса цветных видеокамер, модели CMY и CMYK для цветных принтеров. Для нашей задачи более подходящими являются другие цветовые модели, такие как HLS и HSV. Одним из преимуществ этих

моделей является лучшее соответствие восприятию цвета человеком. Например, описывая цвет автомобиля, человек не говорит о процентном содержании в нём красного(R), зелёного(G) и синего(B). Человек описывает объект с помощью цвета (цветового тона), насыщенности и светлоты либо яркости. Вторым неоспоримым преимуществом является разделение яркостной и цветовой составляющей на изображении, что даёт возможность использовать многие из полутоновых методов обработки для решения тех или иных задач. Особенности данных моделей таковы, что с каналами можно работать независимо друг от друга. Коническое представление выбранной нами модели HSVпредставлено на рисунке 1.

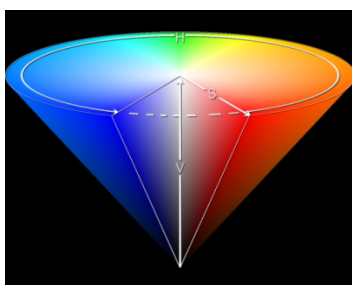


Рис 1.

Недостатком данных цветковых моделей является ошибка вычисления насыщенности при переводе из RGB. Для системы HLSэто проявляется как при значениях RGB близких к 0, так и близких к 255, а для HSV– лишь для близких к 0 значений. Это означает, что степень доверия насыщенности при таких условиях не должна быть высокой.

Для определения различия цветов можно использовать так же цветовую модель Lab. В данной модели так же присутствует отдельная координата яркости. Значения цветового тона, рассчитываемые в системе Labна основании координат а и b, представлены на рисунке 2.

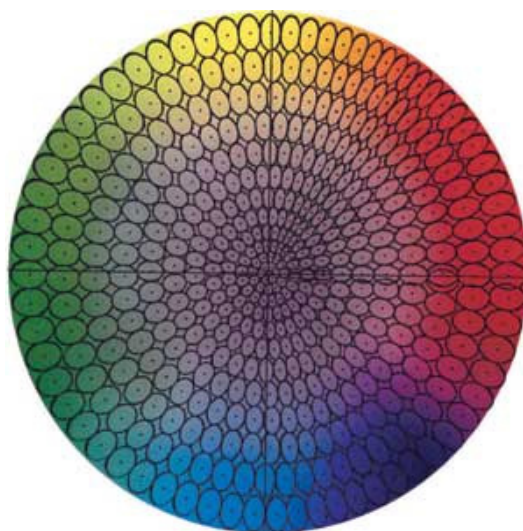


Рис. 2

Как известно, при разработке Lab преследовалась цель создания цветового пространства, изменения цвета в котором будет более линейным с точки зрения человеческого восприятия, то есть с тем, чтобы одинаковое изменение значений координат в разных областях цветового пространства производило одинаковое ощущение изменения цвета.[ГонсалесВудс, 2006] Однако стоит отметить, что отличие от HSV(HLS) формулы перевода в систему Lab не являются линейными, что безусловно вносит некоторые искажения. К тому же все расстояния между цветами в Lab рассчитаны для идеального источника света CIE D65.[Fairchild, 2005] Одной из целей проведённой работы являлось создание такого алгоритма сравнения, который был бы нечувствителен к изменению освещённости. Результаты оценки на изображениях с разным уровнем освещённости показали, что и в системе HSV(HLS), и в системе Lab цветовой тон практически неизменен. Графики изменения значения цветового тона для шести различных цветов при постепенно возрастающем уровне освещённости показаны на рисунке 3.

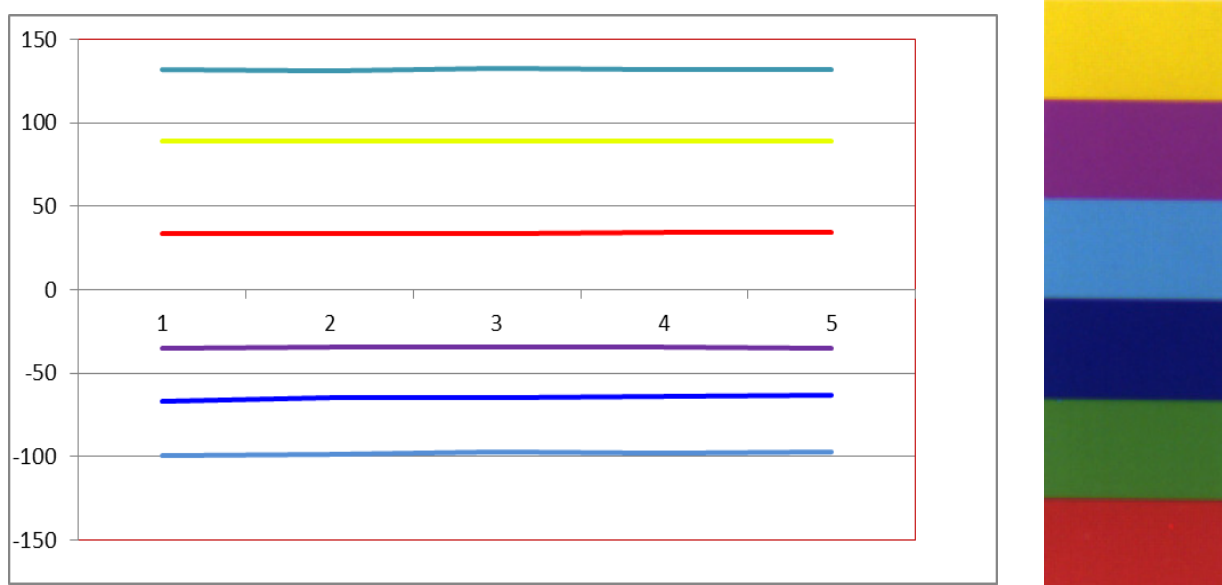


Рис. 3

Таким образом, можно сделать вывод о том, что свойство независимости цветового тона к уровню освещённости соблюдается для каждой из представленных цветовых моделей. Т.е. для сравнения цветов можно использовать любую из них. Отличия в результате будут обусловлены тем, что Lab разработана как равноконтрастная модель, и результаты её работы должны быть более понятны для человеческого восприятия. Однако линейность формул перевода и простота понимания предопределили выбор в пользу модели HSV.

---

### Описание объекта (сцены)

---

Стоит отметить, что способ описания в большей степени зависит от решаемой задачи. Важное значение имеют такие факторы как форма и размеры объектов, их контраст относительно сцены, постоянство различных параметров объекта и сцены. Под каждую конкретную задачу можно построить такое описание, которое будет наиболее полно соответствовать существенным особенностям объекта (сцены). Для объяснения работы метода будет использоваться довольно простое описание, которое позволяет наглядно продемонстрировать работу предлагаемого алгоритма.

Для получения информации о цвете требуются значения по каналам цветовой модели, а также параметры их изменения, которые и будут описывать объект. Построение описания цветного объекта (сцены) будет проводиться согласно схеме, представленной на рисунке 4.

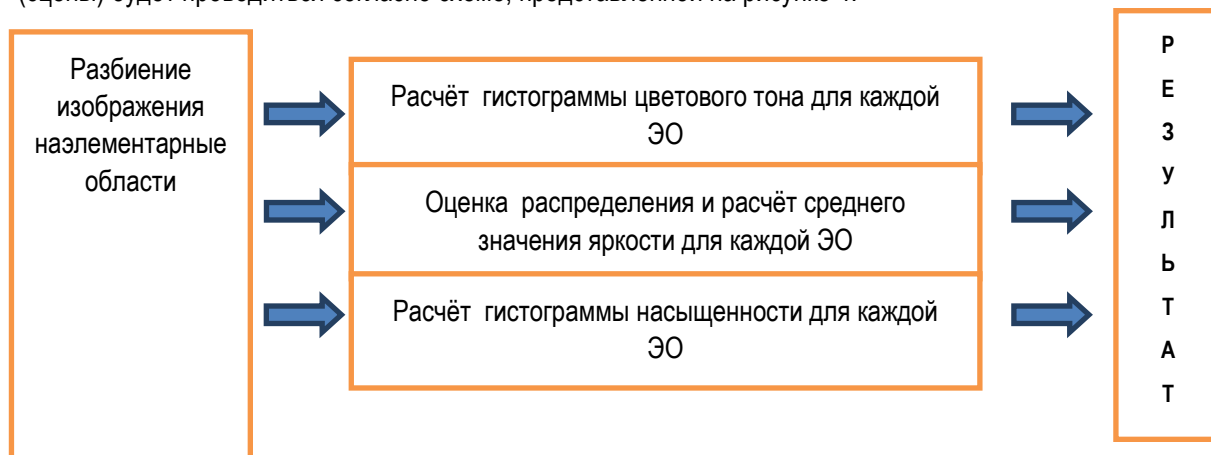


Рис. 4

Первым этапом получения описания является разбиение изображения на некоторое количество одинаковых по размеру прямоугольных областей (далее – элементарная область или ЭО). Другими словами на изображение накладывается прямоугольная сетка, разбивающая его на мелкие области.

Далее, рассчитываются гистограммы цветового тона, яркости и насыщенности для каждой ЭО. Расчёт **гистограммы цветового тона** имеет ряд особенностей. Весь диапазон разбивается на некоторое количество равных интервалов. Это позволяет несколько уменьшить влияние несущественных различий между одинаковыми объектами на разных изображениях. В зависимости от задачи данным параметром можно влиять на точность сравнения, увеличивая или уменьшая количество таких интервалов. В каждое значение гистограммы записывается количество пикселей, попадающих в соответствующий цветовой диапазон. Общий пример гистограммы цветового тона представлен на рисунке 5.

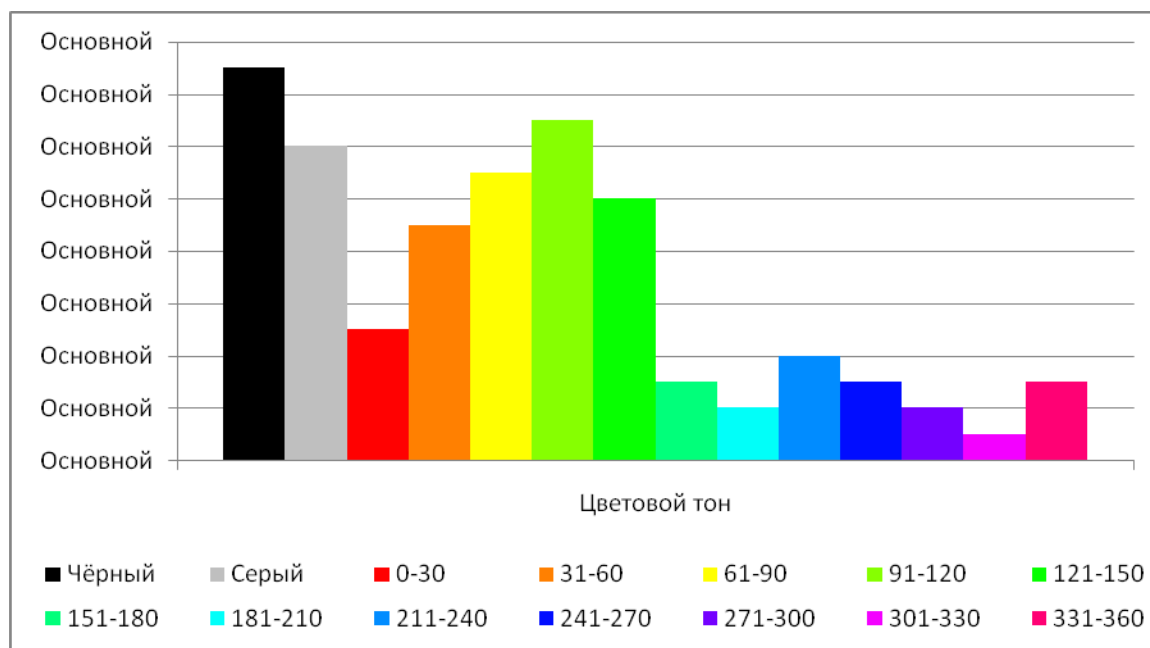


Рис. 5

Помимо этого в гистограмму вводятся два дополнительных столбца. Первый из них – это количество «чёрных» пикселей, т.е. пикселей с низкой яркостью. Второй дополнительный столбец гистограммы предназначен для «серых» пикселей – для тех, у которых значения насыщенности являются недостаточно высокими. Для каждой задачи задаются значения яркости и насыщенности, начиная с которых разработчик считает целесообразным оценивать цветовую составляющую, т.к. при низких значениях яркости или насыщенности даже значительное изменение цветового тона для человека будет неразличимо. [Прохоров, 1988]

Формирование столбца «серых» пикселей происходит по следующим правилам:

пиксели, имеющие значения насыщенности меньше нижней границы интервала, относятся к «серым»

пиксели, имеющие значения насыщенности больше верхней границы интервала, относятся к соответствующему им цветовому интервалу

пиксели, насыщенность которых попадает внутрь заданного интервала, распределяются между столбцом «серых» и «цветовых» пикселей с коэффициентами, определяемыми формулами (1) и (2):

$$K_{color} = \frac{S_{cur} - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \quad (1)$$

$$K_{gray} = 1 - K_{color} \quad (2),$$

где  $S_{cur}$  – текущее значение насыщенности,  $S_{min}$  – нижняя граница интервала,  $S_{max}$  – верхняя граница интервала.

Другими словами, при составлении гистограммы цветового тона считается, что пиксели, имеющие значение насыщенности меньше минимального – это пиксели серого цвета. В решаемой задаче использовались значения  $S_{min} = 10$ ,  $S_{max} = 15$ .

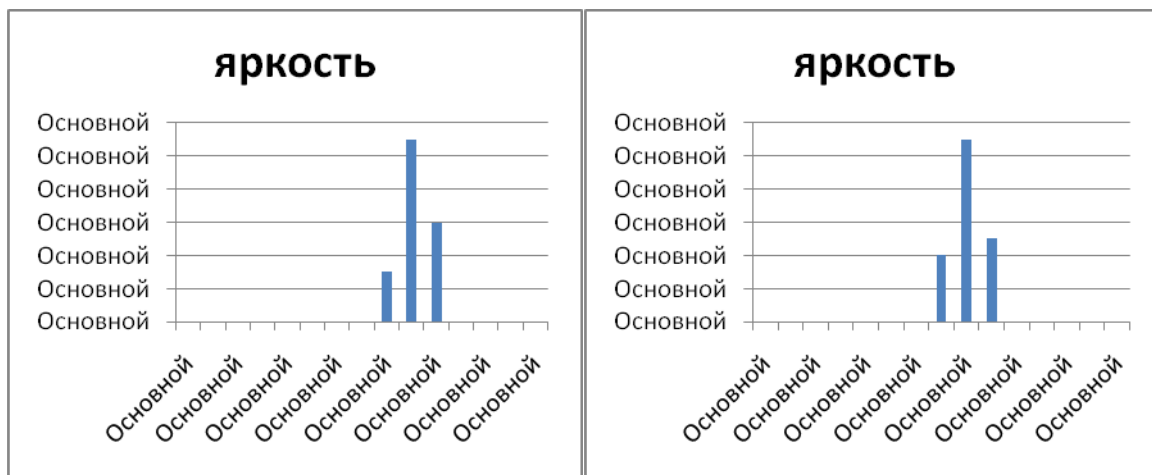


Рис. 6

Аналогичным образом производится расчёт столбца «чёрных» пикселей. Данные интервалы перехода вводятся для исключения ситуации значительного различия гистограмм при значениях яркости близких к граничным. Для примера на рисунке 6 представлены гистограммы канала яркости для двух элементарных областей, имеющих одинаковый цветовой тон, например зелёный.

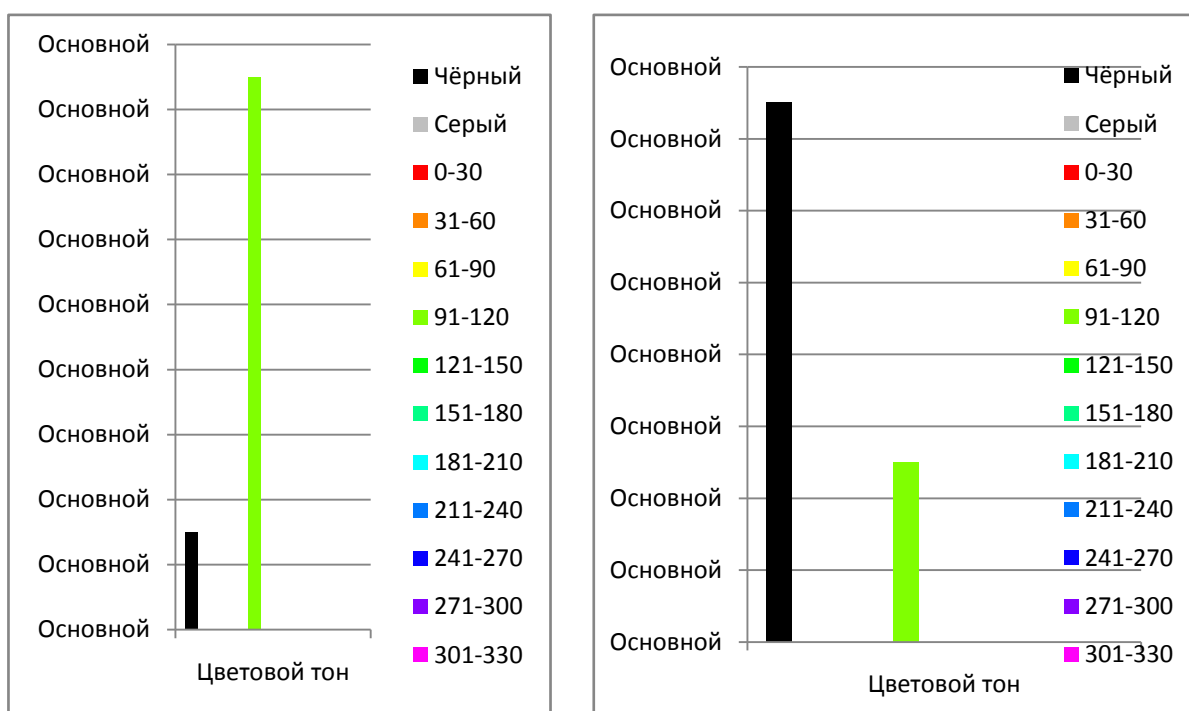


Рис. 7

Если фиксированный порог яркости для данного класса изображений будет равным 10, то для рассматриваемых элементарных областей гистограммы цветового тона будет выглядеть так, как представлено на рисунке 7. Результат пересечения получится равным 40% площади области.

Если же использовать интервал яркости например от 8 до 12, и рассчитать гистограмму с учётом вышеуказанных формул, то процент совпадения составит уже 75%.

**Насыщенность** для элементарной области описывается гистограммой с настраиваемым количеством отсчётов, что позволяет сократить время расчёта и исключить влияние небольших различий. Особенностью системы HSV является значительное изменение насыщенности при низких значениях яркости. Поэтому при расчёте данной гистограммы так же используется анализ яркости и вводится интервал значений перехода между столбцом «чёрных» пикселей и цветными.

Для каждой ЭО также производится расчёт **гистограммы яркости** и рассчитывается среднее значение. Стоит отметить, что оно считается только для областей, имеющих распределение, близкое к нормальному. Решение о виде распределения принимается на основе анализа критерия согласия Пирсона (критерий Хи-квадрат), для расчёта которого используются гистограмма яркости и эталонное распределение Гаусса того же масштаба. Также исключаются из рассмотрения элементарные области с большим значением динамического диапазона яркости. Данная ситуация является недостатком выбранного способа разбиения изображения. При применении алгоритмов, способных выделять объекты с однородными уровнем яркости, данный недостаток может быть исключён.

### Анализ пространственного распределения яркости

Как упоминалось выше, одной из проблем анализа цветных изображений является изменение цвета в зависимости от уровня освещённости. Однако для задач верификации необходимо учитывать эти изменения, ведь по сути объект остаётся тем же, меняются лишь условия его съёмки. То же можно

сказать о системах видеонаблюдения – в случаях, когда солнце заходит за тучи, и когда небо ясное, сцена остаётся той же, меняется лишь уровень освещённости.

Для начала рассмотрим, как меняется значение координаты яркости для приведённых на рисунке 8 однородных серых областей при последовательном изменении уровня освещённости.

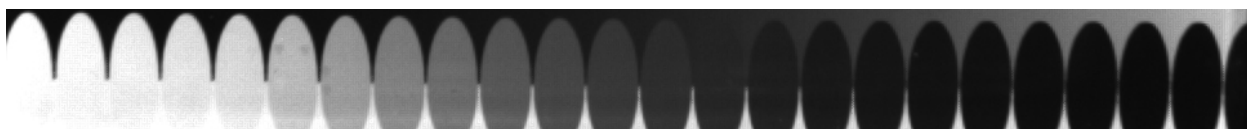


Рис. 8

На рисунке 9 представлены графики изменения параметра Value в модели HSV.

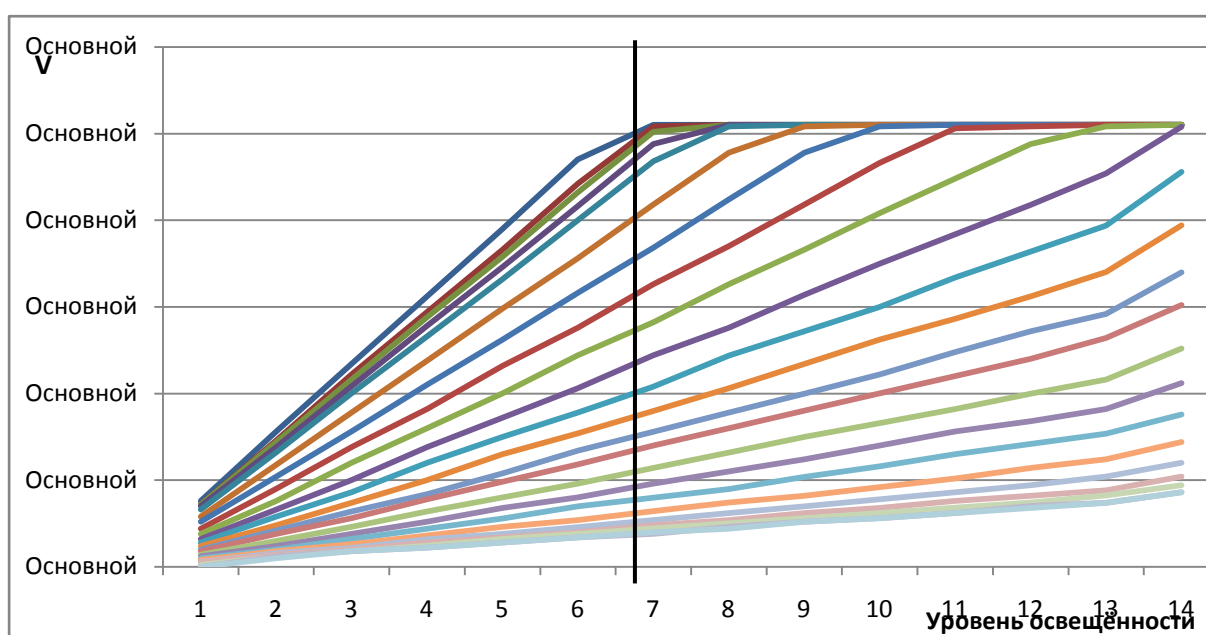


Рис. 9

Из графиков видно, что при увеличении уровня освещённости средняя яркость в области меняется линейно вплоть до достижения уровня насыщения. Для расчётов в качестве отправной точки был выбран такой уровень освещённости, при котором самая яркая область близка к насыщению (уровень 7 на Рис. 9). Примем, что при этом уровне каждая область имеет яркость, которая считается опорной ( $L_{оп}$ ), т.е. яркостью самой области. Тогда закон изменения яркости  $i$ -й области при изменении её освещённости описывается следующим выражением:

$$V_i \approx L_{опi} * K(Br) \quad (3),$$

где  $Br$  – уровень освещённости,  $K(Br)$  – коэффициент изменения яркости при уровне освещённости  $Br$ ,  $i$  – индекс области.

Было установлено, что для всех анализируемых областей значения  $K(Br)$  попадают в узкий диапазон значений. Из этого следует, что вне зависимости от  $L_{оп}$  при изменении уровня освещённости яркость каждой из областей меняется пропорционально. На рисунке 10 приведены зависимости  $K(Br)$  от  $L_{оп}$  при различных уровнях освещённости.

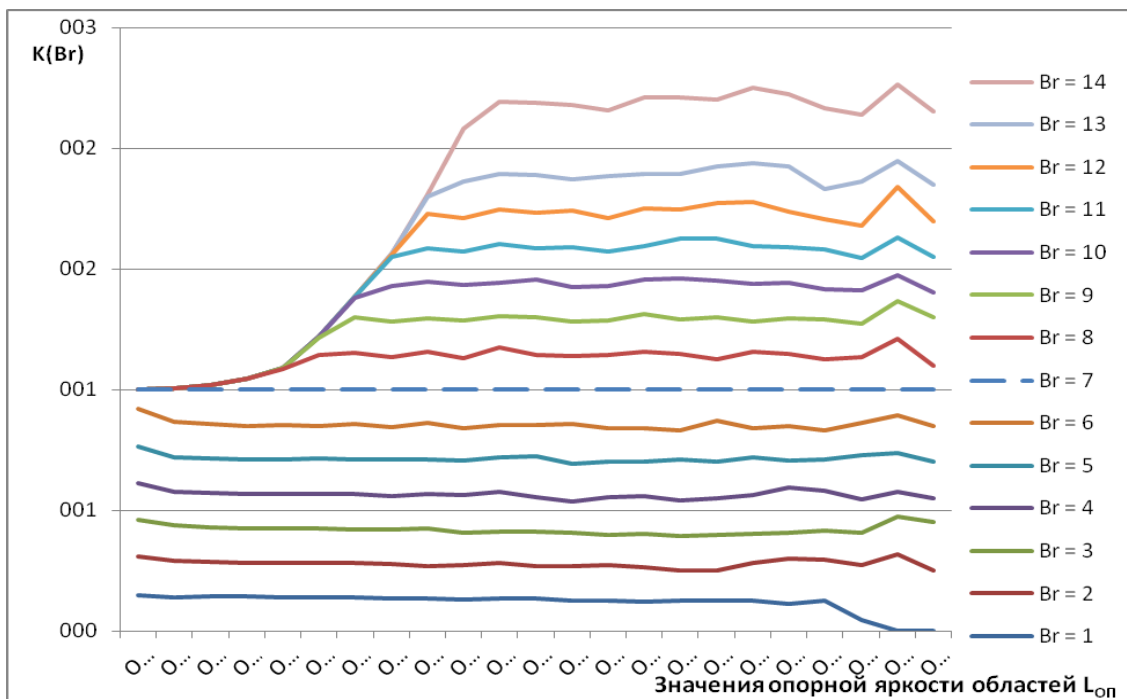


Рис. 10

Из рисунка очевидно, что при изменении уровня освещённости коэффициенты  $K(Br)$  для всех областей практически неизменны. Если исходить из того, что уровень освещённости одинаков для всего изображения, то и коэффициенты изменения яркости должны быть одинаковыми. В этом случае можно установить причину различий параметра Value для ЭО – иные условия освещённости, либо различие уровней яркости объекта в данной области.

Далее необходимо проверить справедливость этого правила для цветных областей. Другими словами, необходимо выяснить, влияет ли цветовой тон на полученную выше зависимость яркости от освещённости. Для этого были получены изображения цветных областей при последовательном увеличении уровня освещённости. На рисунке 11 представлены графики изменения координаты Value для трёх цветных областей. При расчёте коэффициентов отношения уровней яркости были получены аналогичные результаты: диапазон значений оказался очень узким. Например, при повышении уровня освещённости с 2 до 7 яркость каждой из областей выросла в 3.5 раза.

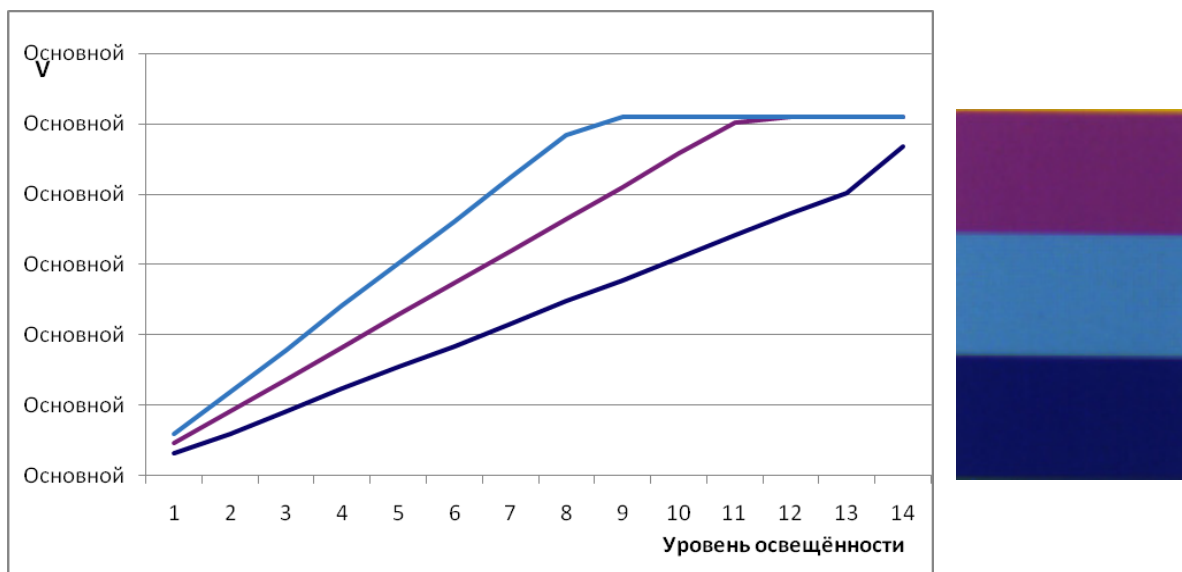


Рис. 11



На рисунках 12 и 13 показаны гистограммы яркости данных областей, снятых при уровнях освещённости 2 и 7 соответственно.

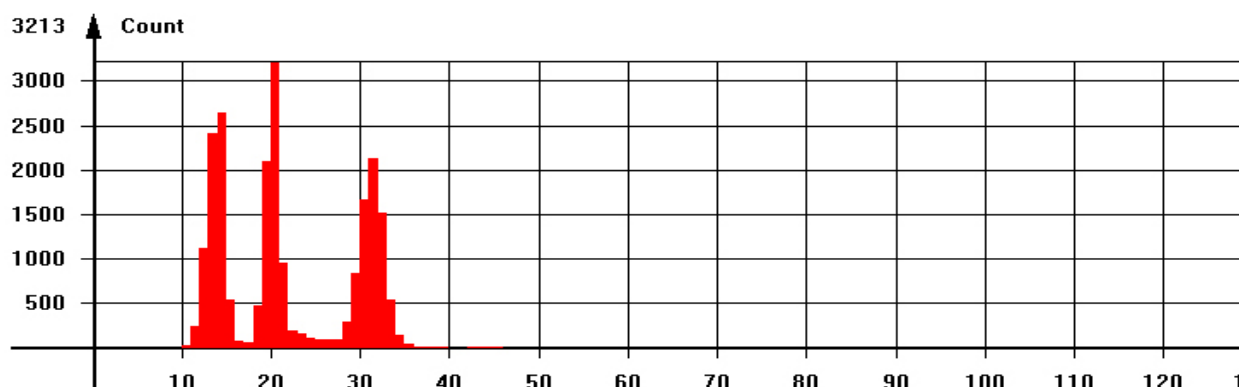


Рис. 12

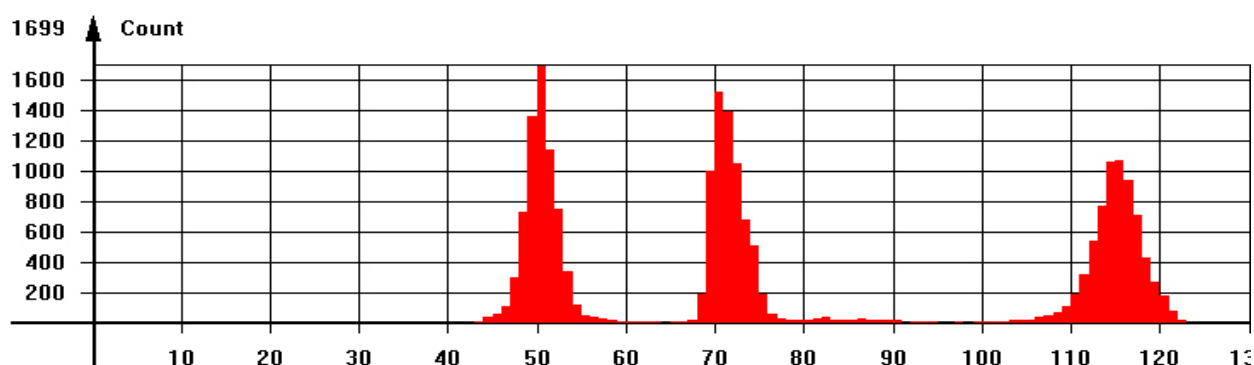


Рис. 13

Данные гистограммы подтверждают достоверность полученных закономерностей, что позволяет сделать следующие выводы:

зависимость уровня яркости от освещённости имеет линейный характер вплоть до достижения уровня насыщения;

цветовой тон не влияет на зависимость яркости от освещённости.

Следовательно, для принятия первичного решения о схожести объектов необходимо рассчитать коэффициенты  $K(Br)$ , показывающие изменение уровня средней яркости ЭО изображения. Если сравниваемые изображения схожи, то значения коэффициентов будут попадать в установленный доверительный интервал. Физический смысл операций расчёта и анализа значений коэффициентов: подтверждение совпадения пространственного распределения яркости вне зависимости от условий освещённости.

---

### Порядок сравнения объектов (сцен)

---

Был разработан следующий алгоритм сравнения цветовых параметров объектов(сцен), позволяющий выдавать процент их схожести. Исходными данными являются изображения, а так же пороги и доверительные интервалы для параметров описания. Результатом работы является степень совпадения данных изображений по цвету. Общая схема алгоритма представлена на рисунке 14.

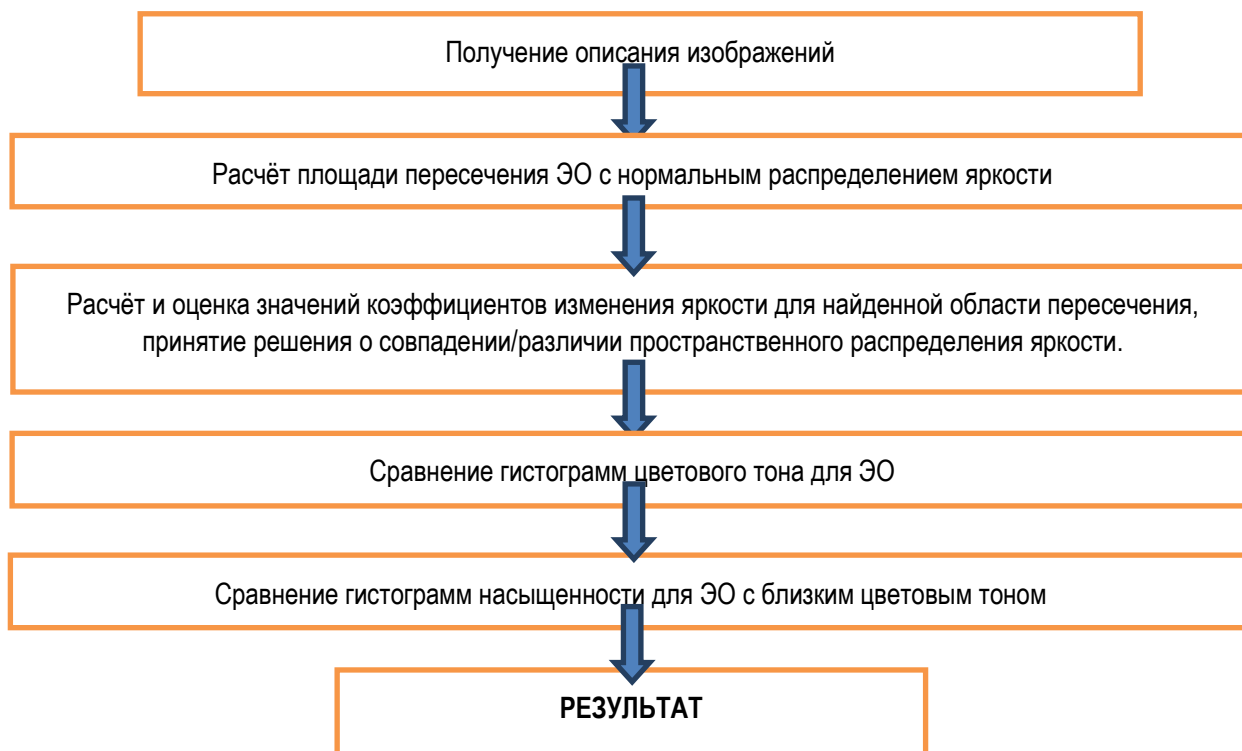


Рис. 14

Сравнение производится поэтапно с возможностью отказа от продолжения. Для каждого этапа задаётся минимально-допустимое значение степени совпадения. В случае, если полученное на одном из этапов значение ниже заданного, то проведение дальнейшего сравнения считается нецелесообразным.

Первоначально получают описания изображений с учётом указанных доверительных интервалов. После этого оценивается, насколько совпадают области с нормальным распределением яркости на рассматриваемых изображениях, рассчитывается площадь совпадения. Дальнейшая оценка проводится лишь в том случае, если объём пересечения превышает установленное пользователем значение.

Следующим этапом является расчёт коэффициентов изменения средней яркости ЭО для найденной области пересечения. Было экспериментально доказано, что большой разброс значений этих коэффициентов указывает на то, что на сравнение подаются различные объекты (сцены). Это позволяет уже на первом этапе принять решение о различии изображений из-за другого пространственного распределения яркости. В случае, если коэффициенты находятся в пределах доверительного интервала, установленного пользователем, считается что различие по яркости обусловлено лишь изменениями условий освещённости.

Далее производится переход к сравнению по каналам цветового тона и насыщенности в ЭО. Сравнение гистограмм внутри ЭО начинается со сравнения цветового тона. Минимальная площадь пересечения по цветовому тону так же задаётся пользователем. Результатом является процент площади изображения, в которых цветовой тон совпадает.

Затем производится расчёт гистограммы насыщенности, и снова производится сравнение путём нахождения пересечения. Учитывая, что до этого были получены данные о том, что значения яркости и цветового тона совпадают, то результат пересечения на данном этапе и будет служить общим результатом сравнения.

---

## Заключение

Данный алгоритм был разработан для использования в системе распознавания документов. Полный цикл сравнения изображений, полученных с камеры с разрешением 1.3 мегапикселя, происходит менее чем за

1 миллисекунду. Благодаря ступенчатой структуре алгоритма время, которое тратится на этап распознавания по цвету, составляет порядка 300 миллисекунд для 1000 классов.

Использование свойства независимости цветового тона от уровня освещённости, а также подтверждение пространственного распределения яркости позволили решить задачу распознавания типа документа без применения структурных алгоритмов.

---

## Библиография

---

[ГонсалесВудс, 2006] Р. Гонсалес, Р. Вудс «Цифровая обработка изображений». Москва: Техносфера, 2006 – 1072с.

[Fairchild, 2005] Mark D. Fairchild. Color Appearance Models, 2nd Edition. JohnWiley&Sons, 2005. – 408 p.

[Прохоров, 1988] А.М. Прохоров. Физическая энциклопедия. Москва, Советская энциклопедия, 1988, т.5. - 420с.

<http://ru.wikipedia.org/wiki>

---

## Сведения об авторах

---



**Протосавицкий Анатолий** – инженер-программист, ООО «Регула», 220036 ул. Волоха 1-314, г. Минск, Беларусь, e-mail: [anatol.pratasavitski@regula.by](mailto:anatol.pratasavitski@regula.by)  
Основные направления деятельности: обработка цветных изображений, элементы защиты и системы проверки подлинности документов



**Горшкова Екатерина** – инженер-программист, ООО «Регула», 220036 ул. Волоха 1-314, г. Минск, Беларусь, e-mail: [katsiaryna.harshkova@regula.by](mailto:katsiaryna.harshkova@regula.by)  
Основные направления деятельности: обработка цветных изображений, элементы защиты и системы проверки подлинности документов



**Пилюттик Дмитрий** – инженер-программист, ООО «Регула», 220036 ул. Волоха 1-314, г. Минск, Беларусь, e-mail: [dzmitry.piliutsk@regula.by](mailto:dzmitry.piliutsk@regula.by)  
Основные направления деятельности: обработка изображений, системы распознавания, системы OCR.



**Телятников Роман** – к.т.н., научный руководитель разработками ПО, ООО «Регула», 220036 ул. Волоха 1-314, г. Минск, Беларусь, e-mail: [raman.tsialiatnikau@regula.by](mailto:raman.tsialiatnikau@regula.by)  
Основные направления деятельности: распознавание образов, обработка изображений, нейрофизиология



**Шумский Иван** – к.т.н., генеральный директор ООО «Регула», 220036 ул. Волоха 1-314, г. Минск, Беларусь, e-mail: [ivan.shumsky@regula.by](mailto:ivan.shumsky@regula.by)  
Основные направления деятельности: автоматизация анализа подлинности документов и денежных банкнот: проектирование оборудования и программного обеспечения