

Расчет объективной и субъективной интегральной яркости объекта по изображению широкого динамического диапазона *

К.С. Зипа, Е.Е. Земцов, А.В. Игнатенко

kzipa@graphics.cs.msu.ru|zemtsov.e.e@gmail.com|ignatenko@graphics.cs.msu.ru

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Задача расчета интегральной яркости объекта актуальна при оценке визуальных свойств предметов. В ряде случаев (ткани, косметика, предметы интерьера) важно рассчитать именно воспринимаемую, а не физическую яркость. В данной статье впервые формализуется задача поиска воспринимаемой яркости объекта. В статье предлагается решение задачи расчета как интегральной объективной, так и интегральной воспринимаемой яркости объекта по изображению широкого динамического диапазона. Изображения широкого динамического диапазона содержат физические значения яркости объектов, поэтому работая с ними можно получить более корректный результат с точки зрения объективного значения отражательной способности. Была проведена экспериментальная верификация, показавшая превосходство выбранного метода оценки воспринимаемой яркости над простым усреднением объективной физической яркости.

Ключевые слова: HDR, яркость, восприятие, динамический диапазон.

The calculation of the integral objective and subjective brightness of the object in the image of a wide dynamic range*

K.S. Zipa, E.E. Zemtsov, A.V. Ignatenko

Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The problem of calculating the integral brightness of the subject is relevant in assessing the visual properties of objects. In some cases (textiles, cosmetics, home furnishings) it is important to calculate the perceived rather than the physical brightness. This article was first formalized the task of finding the perceived brightness of the subject. The paper proposes a solution to the problem of calculation as an integral objective and integrated the perceived brightness of the object in the image of a wide dynamic range. Images of the wide dynamic range of brightness values contain physical objects, so you can work with them to get a correct result in terms of the objective value of reflectivity. Experimental verification was carried out, which showed the superiority of the selected method of assessing the perceived brightness of a simple averaging objective physical brightness.

Keywords: HDR, brightness, perception, dynamic range.

Введение

Человек воспринимает окружающий мир в основном через зрение. Происходит это благодаря зрительной системе, которая превращает световые раздражители в сигналы для последующей передачи по нервным путям в мозг, где происходит анализ поступившей информации и формирование субъективных ощущений.

Начальные этапы обработки сигналов в настоящее время изучены неплохо, однако до сих пор не существует полного описания процессов, происходящих в мозгу человека. До сих пор наука не в состоянии предоставить модель преобразования физических яркостей в воспринимаемые. Примеры таких иллюзий, вступающих в противоречие с физическими величинами, приведены на Рис. 1.

Тем не менее, некоторые закономерности известны и опубликованы в литературе. Это позволяет

частично решать задачу расчета интегральной яркости объекта по фотографии, опираясь на достижения компьютерной графики и психофизиологии, чему и посвящена данная статья.

Повествование ведется следующим образом.

В главе 2 ставится задача расчета интегральной воспринимаемой яркости объекта по фотографии. Эта задача является новой, однако её решение возможно на основе уже существующих алгоритмов.

Работа ведется с изображениями широкого динамического диапазона. Изображение называется изображением широкого динамического диапазона, если количество различных уровней яркости в нём превышает 256 значений. Процесс получения изображений широкого диапазона хорошо изучен, однако в нём есть некоторые тонкости, которые будут рассмотрены в главе 3. Рассмотренный процесс позволяет получить точные фотометрические значения интегральной яркости объекта с использованием обыкновенной фотокамеры.

Работа опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-07-20347

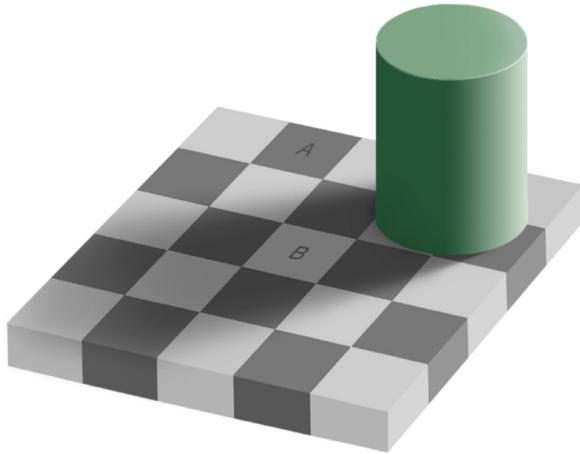


Рис. 1: Иллюзии, демонстрирующие отличие воспринимаемой яркости от физической.

В главе 4 описывается предложенный подход к решению задачи определения воспринимаемой яркости объекта. В главе 5 описывается процесс верификации и производится сравнение с другими методами. В главе 6 выписаны краткие результаты работы. В главе 7 представлен список используемой литературы.

2. Постановка задачи

Задача заключается в определении воспринимаемой человеком яркости некоторого объекта на изображении. Яркость, как характеристика восприятия, не имеет стандартных единиц измерения. Чтобы провести расчет корректно, необходимо иметь входные данные зрительной системы: физические яркости сцены, информацию об условиях освещения, местоположения и границах интересующих объектов.

Определению физических яркостей сцены посвящена следующая глава. В ней описывается технология получения корректных фотометрических яркостей с помощью калиброванного фотоаппарата. Остальную информацию – условия освещения, местоположение и границы объекта нужно получить извне.

Итак, на входе алгоритма:

- изображение широкого динамического диапазона со значениями фотометрической яркости $(L(p))$,
- маска исследуемого объекта (M) ,
- информация об освещении (θ) .

На выходе алгоритма A требуется получить интегральную характеристику яркости объекта, заданного маской.

$$I = A(L(p), M, \theta),$$

$p \in P$ – множество пикселей изображения.

К решению предъявляются следующие требования:

- значения должны быть представлены в некоторой субъективной шкале,
- если между двумя объектами изображения человек не видит различий по яркости (воспринимаемые яркости совпадают), то различие между ними не должно превышать некоторого Δ , складывающегося из едва различимого инкремента восприятия и погрешности алгоритма,
- субъективное отношение яркости между любыми двумя объектами должно соответствовать отношению величин рассчитанной интегральной яркостью,
- при предъявлении экспертам двух изображений: исходного и имеющего карту со значениями, равными интегральной яркости объекта, они должны в среднем оценить область яркости объекта на них как одинаковую.

3. Определение интегральной объективной яркости объекта с помощью построения изображения широкого диапазона

Получить изображение широкого диапазона можно двумя основными способами:

- 1) Синтез изображения с помощью компьютерной графики
- 2) Получение изображения широкого диапазона с помощью наборов фотографий одного кадра, снятых с разной выдержкой[1]. Пример двух фотографий с разной выдержкой представлен на Рис. 2.



Рис. 2: Фотографии одной сцены, снятые с разной выдержкой.

Первый способ не годится, так как не работает с объектами реального мира. Второй способ выглядит самым подходящим, он требует лишь наличие обыкновенной цифровой камеры и штатива.

Итак, рассмотрим задачу синтеза HDR-изображения по набору LDR-изображений. Это классическая задача, решение которой было предложено в статье [1].

Что происходит, когда свет попадает на матрицу камеры? Когда затвор камеры открывается, фотоны начинают воздействовать на сенсор (чем ниже ISO, тем больше фотонов должно попасть на матрицу для активации сенсора). По мере увеличения числа фотонов, сигнал сенсора усиливается. При закрытии затвора на матрице оказывается готовый отпечаток для заданной выдержки.

До этого момента ясно, что если выдержки на двух последующих кадрах отличаются в 2 раза, то и значения на матрицах будут тоже отличаться в 2 раза. Однако после этого производители фотоаппаратов применяют нелинейное преобразование, которое называют кривой отклика камеры. Это преобразование уникально для разных фотоаппаратов.

Метод, описанный в статье [1] как раз и позволяет восстановить кривую отклика камеры, а после этого рассчитать значения физической яркости, которые записываются в изображение широкого динамического диапазона.

Особенность этого алгоритма заключается в том, что функция отклика камеры восстанавливается лишь с точностью до константы. Для получения абсолютных значений фотометрической яркости эту константу необходимо найти. Статья [2] рассматривает несколько способов поиска. Но все они объединены общей идеей: необходимо сфотографировать объект с известной физической яркостью.

Чтобы измерить физическую яркость какого-либо объекта, можно использовать специальные приспособления. Варианты устройств:

- 1) luminance meter – измеряет напрямую яркость, но дорог,
- 2) lux meter – измеряет количество падающего света, для расчета излучаемого света необходимо специальное освещение,
- 3) спотметр – измеряет exposure value, используется фотоаппаратами, полученное значение преобразуется в яркость, не дорого стоит, не требует специального освещения.

Итак, каждому фотоаппарату кроме кривой отклика соответствует калибровочная константа. Её можно получить, если сфотографировать объект с известной яркостью. Яркость объекта определяется с помощью спотметра (I_{spot}). В качестве калибровочного объекта может выступать печатное изображение на Рис. 3.

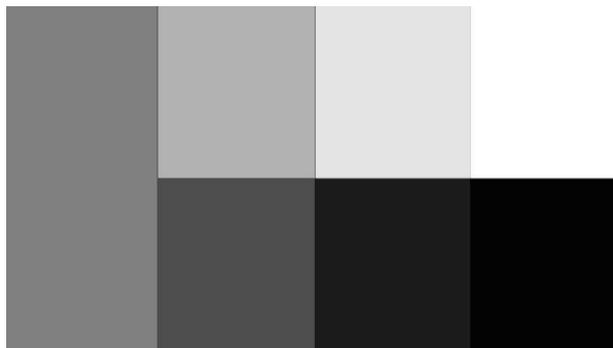


Рис. 3: Калибровочный объект.

Калибровочную константу получим по формуле:

$$k = I_{spot} / I_{hdr},$$

I_{hdr} – результат алгоритма,

I_{spot} – физическая яркость объекта.

В своих экспериментах мы брали медиану из нескольких замеров (параметры ISO100/400, f4.0/5.6, ориентация шаблона в пространстве (поворот на 180 градусов), глянцева и матовая бумага). Общая схема получения объективной яркости объекта по фотографии представлена на Рис.4.

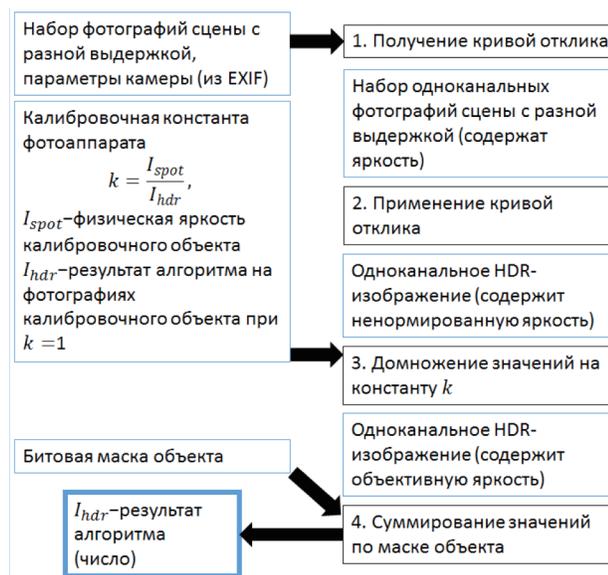


Рис. 4: Схема получения интегральной физической яркости объекта.

Было установлено, что наименьшую ошибку имеют замеры, проведенные по серым квадратам из тестового шаблона. Таким образом, имея скалированный фотоаппарат, можно получить точные фотометрические значения яркости в каждом пикселе изображения.

Далее, для получения объективной яркости объекта, для которого известна его маска на изображении, остается только усреднить значения яркостей

пикселя объекта:

$$B_{objective}(object) = \frac{\sum_{i=1}^N I_{objective}(p_i)}{N}, p_i \in object.$$

4. Определение интегральной субъективной яркости объекта с помощью построения изображения широкого диапазона

Мы решаем поставленную задачу впервые, поэтому законченных решений, с которых можно было бы начать рассмотрение, не существует. Поэтому сразу проведем декомпозицию задачи на 2 подзадачи:

1. Расчет воспринимаемой яркости для каждого пикселя.
2. Суммирование точечных яркостей для расчета интегральной яркости объекта.

Поскольку в этой статье предлагается первая попытка к решению задачи, мы решили использовать в качестве суммирования классическое понятие усреднения значений яркости в изображении:

$$B_{subjective}(object) = \frac{\sum_{i=1}^N I_{subjective}(p_i)}{N}, p_i \in object.$$

Для расчета точечной яркости мы решили сосредоточиться на методе глобальной коррекции, который преобразует яркость пикселя в соответствии с общим ощущением яркости, имитируя процесс глобальной адаптации человеческого зрения.

4.1 Нелинейность восприятия яркости, хроматическая адаптация

Сначала стоит отметить актуальность проблемы определения именно воспринимаемой (субъективной) яркости. Во введении был приведен пример иллюзии, демонстрирующей качественное отличие результата восприятия от физических значений интенсивности света, попавшего на сетчатку.

Теперь мы перечислим некоторые особенности человеческого зрения, которые мы хотим промоделировать в построенной карте воспринимаемой яркости.

Во-первых, это нелинейность восприятия яркости. Закон нелинейного восприятия был описан Стивенсом [3] и заключается в том, что воспринимаемая яркость монотонного поля приблизительно изменяется по степенному закону относительно физической яркости этого поля.

$$B = k * I^n$$

I – физическая яркость,

B – воспринимаемая яркость.

Другая важная особенность зрения – способность адаптироваться к различному освещению. Это явление получило название хроматической адаптации. На Рис. 5. представлена сцена, снятая в

различных освещениях. Благодаря хроматической адаптации цвет лилия в сцене не изменяется с точки зрения человека.



Рис. 5: Эффект цветовой адаптации. Источник – http://traditio-ru.org/wiki/Цветовая_адаптация

4.2 Глобальные модели яркости

Рассмотрим некоторые цветовые модели, которые берут в расчет специфику человеческого зрения. Первая модель – модель фон Криса [4]. В ее основе лежит предположение о том, что каждый вид рецепторов приспособляется независимо друг от друга. Эта модель обладает низкой точностью, но на её основе построены более сложные преобразования.

Улучшения предложил Nayatani и др. [5]. Нервные клетки проявляют постоянную активность, даже когда на них не оказывается воздействия, то есть они генерируют некоторый случайный сигнал (шум). Авторы добавили искажения во входное изображение, чтобы симитировать реальное действие клеток человека. Отличие этой модели в применении нелинейного преобразования, что и обеспечивает преимущество данной модели от модели фон Криса.

Модель [6] – наиболее сложная и точная из всех. Однако на вход требуется большое количество характеристик сцены, их замеры сложны и верное применение требуют серьезного опыта от экспериментатора.

Последней рассмотрим CIECAM02[7] – стандарт, принятый международной комиссией по освещению (CIE) в 2002 году. Она изначально разрабатывалась, как универсальная модель, вобравшая в себя все наработки. Модель получилась менее точной, чем Hunt, однако и гораздо более простой для применения.

Для расчета точечной субъективной яркости решено использовать модель CIECAM02, потому что

она не требовательна ко входным данным и при этом показывает достойные результаты.

4.3 Итоговая схема алгоритма

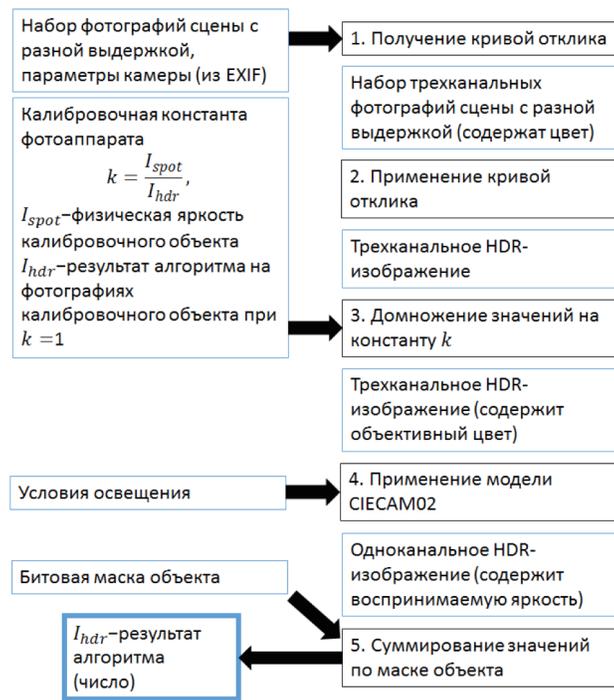


Рис. 6: Схема получения интегральной воспринимаемой яркости.

На вход подаётся: набор изображений с разной выдержкой и параметры камеры (выдержка для каждой фотографии, диафрагма, значение ISO, калибровочная константа). На выходе первого этапа – HDR-картинка со значениями физической яркости. Далее мы добавляем информацию об условиях освещения: цвет источника света, абсолютная фоновая яркость и пр. Физические яркости поточно преобразуются в воспринятые по модели CIECAM02. В конце значения суммируются в пределах объекта, границы которого задаются маской. Схема алгоритма представлена на Рис. 6.

5. Тестирование и результаты

Алгоритм оценивался экспериментально. Для проведения тестирования была сгенерирована тестовая база стимулов. Человеку предъявлялся стимул и однородное серое поле. Предлагалось подобрать яркость поля так, чтобы она была равна средней яркости стимула.

Проверялись результаты двух описанных алгоритмов определения интегральной яркости объекта.

Для каждого алгоритма подсчитывалась относительная разница между суммарными характеристиками стимула и однородного поля. В результате проведенного исследования было установлено, что точность простого усреднения физической яркости ошибка составляет всего лишь 15%, а с использованием адаптационного преобразования она снижается до 1%.

6. Заключение

В статье предложены 2 метода расчета интегральной яркости объекта:

- 1) Метод расчета объективной яркости.
- 2) Метод расчета субъективной яркости.

Метод расчета объективной яркости базируется на процессе не затратной калибровки фотоаппарата, представлена методика калибровки и тестовый объект.

Для расчета субъективной яркости, к изображению широкого диапазона применяется модель CIECAM02. Полученные в результате тестирования значения ошибок показали выигрыш предложенного алгоритма по сравнению с алгоритмом наивного усреднения объективной физической яркости.

Литература

- [1] Debevec P., Jitendra Malik. Recovering high dynamic range radiance maps from photographs. // Proceeding SIGGRAPH '08 ACM SIGGRAPH 2008 classes Article No. 31. 2008.
- [2] Hiscocks P, Eng P. Measuring Luminance with a Digital Camera. // Syscomp Electronic Design Limited. 2011.
- [3] Stevens, S.S. (1957). "On the psychophysical law". Psychological Review 64 (3): 153–181.
- [4] J. v. Kries (1905). Die Gesichtsempfindungen. Handbuch der Physiologie der Menschen.
- [5] Nayatani Y. Formulation of a Nonlinear Model of Chromatic Adaptation. // Color Research & Application Volume 6, Issue 3, pages 161–171, Autumn (Fall) 1981
- [6] RWG Hunt. Revised colour-appearance model for related and unrelated colours. // Color Research & Application Volume 16, Issue 3, pages 146–165, June 1991
- [7] Moroney N. The CIECAM02 color appearance model. // Color and Imaging Conference, 10th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings, pp. 23-27(5)