

Сысуев И. А., доцент, Омский государственный технический университет

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЦВЕТОВОГО ОХВАТА ЦВЕТОВОСПРОИЗВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ И ЕГО ВОЗМОЖНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

The article analyses value of color gamut of color reproduction system (printing system) using integral index such as color gamut body volume determined taking into consideration visual perception (CIE ΔE2000). Integral index calculation is achieved. Color density of color space and color mass of it's area determination are introduced.

1. Объем тела охвата цветов как интегральный показатель цветового охвата цветовой системы. Для объективной оценки системы печати в дополнение к существующим необходимо использовать интегральный численный показатель, выражающий ее цветовой охват. Данный показатель, с одной стороны, требуется для того чтобы объективно сравнивать цветовой охват систем печати, а с другой – как критерий, применяемый собственно для решения задач по определению оптимальных цветовых характеристик стимулов триады, используемых оцениваемой системой.

При разработке указанного показателя должны быть учтены различного рода требования. По нашему мнению, данный показатель должен обладать следующими характеристиками:

1) *быть универсальным*, т. е. позволяющим оценивать цветовой охват не только систем печати, но и произвольных цветовой системы;

2) *иметь одно численное значение*, выражающее оценку количества цветов, воспроизводимых системой. Это свойство необходимо для однозначного сравнения цветового охвата цветовой системы. Здесь подчеркнем, что численное значение такого показателя является лишь его оценкой, а не количеством воспроизводимых цветов. Современное состояние колориметрии не позволяет определить точное количество цветов, различаемых стандартным наблюдателем;

3) *учитывать особенности цветовой системы человека*. Это свойство особенно важно. На сегодня не существует методов оценки цветовой охвата, которые бы использовали точно описанные свойства цветоразличения человека. Наиболее приближенным к реальному описанию цветоразличения является уточненная функция цветоразличения CIE ΔE2000. Разрабатываемый показатель должен не только обладать связью с цветоразличением стандартного наблюдателя, но и иметь универсальный алгоритм расчета, предполагающий возможность уточнения описания цветоразличения. Это будет достигаться путем замены функции цветоразличения CIE ΔE2000 на более совершенную, когда таковая будет разработана;

4) *позволять производить оценку цветовой охвата произвольных областей цветовой про-*

странства, являющихся, например, частями цветовой охвата некоторой системы цветовой системы. Не всегда необходимо вычислять полный цветовой охват какой-либо цветовой системы. Иногда требуется оценить области цветов, принадлежащие цветовой охвату одной системы и не принадлежащие при этом другой, например при сравнении цветовой систем по цветовой охвату, или определить, какая область цветов воспроизводится одной системой и не воспроизводится другой.

Показателем, который соответствует всем указанным выше требованиям (т. е. описывающим количество воспроизводимых цветов), является объем тела охвата цветов цветовой системы, в том числе системы печати, в единицах ΔE цветовой пространства CIE L*a*b*-1976 (L*a*b*).

Указанный объем описывает количество цветов, находящихся в определенной области цветовой пространства (например, принадлежащих телу цветовой охвата системы печати) и различаемых стандартным наблюдателем.

Данная особенность тем более важна при описании цветовой охвата, так как стремление воспроизвести цвета, неразличимые наблюдателем, может привести к потере различаемых цветов. Без наличия информации о количестве различаемых цветов в определенной области цветовой пространства (ОЦП) нецелесообразно изменять характеристики системы для воспроизведения находящихся в этой области цветов. Связано это в основном с тем, что воспроизведение цветов определенной области цветовой пространства часто достигается в ущерб воспроизведению в другой. Поэтому, не имея информации о количестве различаемых цветов в этих областях, невозможно определить, увеличится или уменьшится цветовой охват цветовой системы при данных изменениях.

Очевидно, что при прочих равных условиях больший объем тела охвата цветов означает большее количество цветов, воспроизводимых системой печати.

Под телом охвата в данном случае понимается область цветовой пространства, в которой находятся все цвета, воспроизводимые определенной цветовой системой.

Причем чем точнее вычисляются цветовые различия (замена функции цветоразличения ΔE на другую, более совершенную), тем в большей степени результат вычисления объема тела охвата цветов будет согласовываться с цветовосприятием человека.

Анализ предлагаемого интегрального показателя оценки цветового охвата цветопроизводящей системы показывает его соответствие заявленным требованиям: во-первых, показатель универсален. Он может быть определен для любой цветопроизводящей системы, в силу того что связь показателя с характеристиками системы наблюдается лишь через тело ее цветового охвата. Поскольку описание тела охвата цветопроизводящей системы является достаточно простой задачей, то определение показателя возможно для любой цветопроизводящей системы, если определено тело цветового охвата. Во-вторых, разработанный показатель является интегральным и имеет одно численное значение в каждой области, для которой он рассчитывается. В-третьих, показатель учитывает особенности цветовосприятия человека, что достигается в случае применения в расчетах наиболее совершенной на сегодня функции цветоразличения CIE ΔE_{2000} . В-четвертых, показатель позволяет производить оценку произвольных областей цветового пространства, поскольку, как уже было сказано выше, при вычислении показателя не имеет значения конфигурация ОЦП, а также то, является ли она телом цветового охвата или его частью.

Задача нахождения объема тела охвата цветов цветопроизводящей системы состоит из двух основных частей: *описание тела охвата* в пространстве $L^*a^*b^*$ и *нахождение его объема* с целесообразным в данном случае использованием методов численного интегрирования [1].

Описание тела цветового охвата системы печати подробно изложено в [2, 3], поэтому сразу перейдем к рассмотрению второй части задачи.

2. Вычисление объема тела охвата цветов в единицах ΔE . Область цветового пространства $L^*a^*b^*$, являющаяся в настоящем приложении телом охвата цветов системы печати, разбивают на множество элементарных объемов (кубов размером $\Delta L^* \times \Delta a^* \times \Delta b^*$, рисунок, $\Delta L^* = \Delta a^* = \Delta b^*$) и вычисляют величину $V_{эл}$ каждого из них в единицах ΔE :

$$V_{эл}(\Delta E) = \Delta E_{L^*} \times \Delta E_{a^*} \times \Delta E_{b^*}, \quad (1)$$

где $\Delta E_{L^*} = \Delta E(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_2, a^*_1, b^*_1) = L^*_2 - L^*_1$;

$\Delta E_{a^*} = \Delta E(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_1, a^*_2, b^*_1) = a^*_2 - a^*_1$;

$\Delta E_{b^*} = \Delta E(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_1, a^*_1, b^*_2) = b^*_2 - b^*_1$,

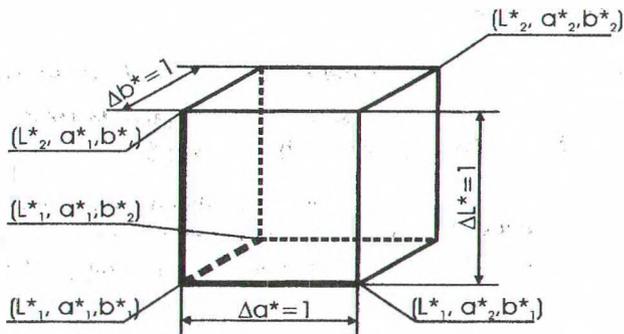


Рисунок. Элементарный объем ($\Delta L^* \times \Delta a^* \times \Delta b^*$) в пространстве $L^*a^*b^*$ ($\Delta L^* = \Delta a^* = \Delta b^*$)

а общий объем области цветового пространства ($V_{ОЦП}$) – тела охвата цветов ($V_{ТОЦ}$) – определяется суммированием элементарных объемов, при условии их принадлежности ей:

$$V_{ОЦП} = V_{ТОЦ} = \sum_{L^*} \sum_{a^*} \sum_{b^*} V_{эл}(\Delta E), \quad (2)$$

Принадлежность элементарного объема ОЦП определяется расположением точки

$$\left(L^*_1 + \frac{\Delta L^*}{2}; a^*_1 + \frac{\Delta a^*}{2}; b^*_1 + \frac{\Delta b^*}{2} \right) - \text{центра}$$

элементарного объема – между двух криволинейных поверхностей, ограничивающих тело цветового охвата системы печати.

3. Вычисление объема тела охвата цветов в единицах ΔE_{00} . Функция цветоразличения CIE ΔE , принятая в 1976 году одновременно с системой CIE $L^*a^*b^*$ -1976, не является сегодня наиболее точно описывающей цветоразличение наблюдателя.

В цветовом пространстве колориметрической системы CIE $L^*a^*b^*$ -1976 цвета расположены неравномерно с точки зрения цветоразличения. Это выражается в том, что одинаковым визуальным отличиям в различных частях цветового пространства соответствуют различные по величине значения ΔE — расстояние между точками цветов:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}.$$

В связи с существенной неравноконтрастностью системы $L^*a^*b^*$ в последние годы предприняты попытки описать ее неоднородность с точки зрения цветовосприятия, что выразилось в принятии Международной комиссией по освещению (CIE) уточненных функций цветовых различий CIE94 (CIE, 1994), CIE ΔE_{2000} (CIE, 2000 – ΔE_{00}). Последняя является наиболее совершенным на сегодняшний день вариантом описания неравноконтрастности системы $L^*a^*b^*$.

Поэтому является целесообразным применять для количественной оценки цветового охвата цветопроизводящей системы, в частности системы печати, показатель, вычислен-

ный с учетом неоднородности цветового пространства $L^*a^*b^*$ посредством уточненной функции цветоразличения ΔE_{00} .

При переходе к другой функции цветоразличения изменениям подвергается лишь формула расчета цветовых различий. Элементарные объемы вычисляются аналогично (1):

$$V_{эл}(\Delta E_{00}) = \Delta E_{00L^*} \times \Delta E_{00a^*} \times \Delta E_{00b^*}, \quad (3)$$

где $\Delta E_{00L^*} = \Delta E_{00}(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_2, a^*_1, b^*_1)$;

$$\Delta E_{00a^*} = \Delta E_{00}(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_1, a^*_2, b^*_1)$$

$$\Delta E_{00b^*} = \Delta E_{00}(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_1, a^*_1, b^*_2),$$

а объем области цветового пространства – тела охвата цветов – аналогично (2):

$$\Theta = V_{ОЦП} = V_{ТОЦ} = \sum_{L^*} \sum_{a^*} \sum_{b^*} V_{эл}(\Delta E_{00}). \quad (4)$$

Здесь вводим обозначение Θ – интегральный показатель оценки цветового охвата (ИПОЦО) цветовоспроизводящей системы.

По сути объем тела охвата цветов, вычисленный с использованием функции цветоразличения ΔE_{00} , является оценкой количества цветов, воспроизводимых системой печати или содержащихся в определенной области цветового пространства и различаемых стандартным наблюдателем.

Примечательно, что дальнейшее уточнение функции цветовых различий не отразится на алгоритме вычисления объема. Изменения вносятся лишь в формулу цветовых различий, и, имея данные, описывающие тело охвата цветов, можно в любой момент определить его объем используя новую, более точную формулу.

Таким образом, в качестве интегрального показателя оценки цветового охвата (ИПОЦО) цветовоспроизводящей системы целесообразно использовать значение объема тела охвата цветов, вычисленного с использованием функции CIE ΔE_{2000} .

4. Возможная интерпретация интегрального показателя оценки цветового охвата области цветового пространства. Система $L^*a^*b^*$, как отмечалось выше, хотя и именуется равноконтрастной, таковой на самом деле не является.

Идеально равноконтрастная система является однородной с точки зрения цветовосприятия человека. Это означает, что равноконтрастное цветовое пространство имеет постоянную *цветовую плотность* – т. е. плотность расположения в цветовом пространстве различаемых человеком цветов. В истинно равноконтрастном (изотропном по цветовосприятию) цветовом пространстве показателем его цветовой плотности является параметр $\Delta E = \text{const}$. В этом случае, рассчитав объем тела охвата цве-

тов в единицах ΔE (как расстояние между точками цветов в равноконтрастном, равноплотном, цветовом пространстве, где одинаковым визуальным отличиям соответствуют одинаковые расстояния между точками сравниваемых цветов), можно определить его цветовую массу. В настоящем приложении *цветовая масса* – показатель, характеризующий количество различаемых человеком цветов, заключенных в определенной области цветового пространства, например в пределах тела цветового охвата цветовоспроизводящей системы и системы печати в частности.

В цветовом пространстве $L^*a^*b^*$ параметр ΔE не может служить показателем цветовой плотности, поскольку система в значительной степени неравноконтрастна, неизотропна с точки зрения цветоразличения. Иными словами, цветовое пространство в своих разных областях и в различных направлениях характеризуется различной цветовой плотностью. Показателем цветовой плотности может служить параметр ΔE_{00} , который в наибольшей степени (на сегодня) соответствует цветоразличению стандартного наблюдателя. Показатель ΔE_{00} учитывает неоднородность цветового пространства $L^*a^*b^*$ в различных областях и направлениях ($\Delta E_{00L^*} \neq \Delta E_{00a^*} \neq \Delta E_{00b^*}$).

Интегральный показатель Θ оценки цветового охвата является показателем, характеризующим количество цветов, воспроизводимых некоторой цветовоспроизводящей системой и различаемых стандартным наблюдателем.

Он рассчитывался как объем области неравноплотного (неизотропного с точки зрения цветоразличения) цветового пространства. При этом неравноплотность цветового пространства при расчете объема области учитывалась с использованием уточненной функции цветоразличения ΔE_{00} на стадии определения элементарного объема.

Собственно сущность и алгоритм расчета показателя Θ являлись естественным развитием показателя объема тела цветового охвата цветовоспроизводящей системы (или произвольной области цветового пространства) как интегрального показателя их цветового охвата: оценки количества цветов, воспроизводимых системой печати (или содержащихся в определенной области). А именно: если полагаем, что цветовое пространство равноконтрастное, т. е. равноплотное, то объем некоторой замкнутой области этого пространства служит показателем количества различаемых стандартным наблюдателем цветов, содержащихся в ней. Если цветовое пространство неравноконтрастно, т. е. неравноплотно, вычисляем объем замкнутой области с учетом описания этой неоднородности (функция ΔE_{00}). Отсюда и интерпретация

показателя Θ как объема области цветового пространства, вычисленного с использованием точечной функции цветоразличения ΔE_{00} .

С введением понятий цветовой плотности и цветовой массы мы можем интерпретировать показатель Θ гораздо более точно по его сущности и в соответствии с физической аналогией. Если принять, что функция ΔE_{00} — описание цветовой плотности цветового пространства $L^*a^*b^*$, то элементарный объем $V_{эл}$ (ΔE_{00}), вычисленный по (3), является, по сути, не уточненным с точки зрения цветовосприятия объемом микрообласти, а как показатель количества различаемых стандартным наблюдателем цветов — цветовой массой элементарного объема, складывающаяся из элементарных объемов некоторая область цветового пространства будет обладать некоторой цветовой массой $M_{ОЦП}$ — показателем, характеризующим количество содержащихся в ней цветов, различаемых стандартным наблюдателем.

По аналогии с (3) и (4) цветная масса некоторой области цветового пространства рассчитывается методом численного интегрирования:

$$M_{ОЦП} = \sum_{L^*} \sum_{a^*} \sum_{b^*} M_{эл}, \quad (5)$$

где $M_{ОЦП}$ — цветная масса исследуемой области цветового пространства;

L^*, a^*, b^* — пределы численного интегрирования, описывающие границы области;

$M_{эл}$ — цветная масса элементарного объема $\Delta E_{00} = \Delta L^* \times \Delta a^* \times \Delta b^*$, причем $\Delta L^* = \Delta a^* = \Delta b^*$.

$$M_{эл}(\Delta E_{00}) = \Delta E_{00L^*} \times \Delta E_{00a^*} \times \Delta E_{00b^*}, \quad (6)$$

где $\Delta E_{00L^*} = \Delta E_{00}(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_2, a^*_1, b^*_1)$;

$\Delta E_{00a^*} = \Delta E_{00}(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_1, a^*_2, b^*_1)$;

$\Delta E_{00b^*} = \Delta E_{00}(L^*_1, a^*_1, b^*_1; L^*_1, a^*_1, b^*_2)$,

где L^*_1, a^*_1, b^*_1 и L^*_2, a^*_2, b^*_2 — координаты цветных точек элементарного объема, причем $\Delta L^* = L^*_2 - L^*_1$, $\Delta a^* = a^*_2 - a^*_1$, $\Delta b^* = b^*_2 - b^*_1$.

При такой интерпретации Θ , по нашему мнению, будет иметь место полная аналогия с физическими понятиями «плотность — объем — масса».

Для более удобного вычисления цветовой массы целесообразно пользоваться трехмерной цветовой плотностью, которая представляет собой совокупность численных значений

цветовой плотности элементарных объемов цветового пространства. Указанные значения цветовой плотности $P(L^*, a^*, b^*)$ вычисляются как отношение цветовой массы элементарного объема к этому объему:

$$P(L^*, a^*, b^*) = \frac{M_{эл}}{V_{эл}}, \quad (7)$$

где $V_{эл} = \Delta L^* \times \Delta a^* \times \Delta b^*$, причем $\Delta L^* = \Delta a^* = \Delta b^*$.

Такая карта цветовой плотности может быть рассчитана для всего цветового пространства $L^*a^*b^*$ при заданной величине его дискретизации $\Delta L^* = \Delta a^* = \Delta b^*$ и будет содержать значения $P(L^*, a^*, b^*)$ для каждого элементарного объема цветового пространства.

При расчете цветовой массы области цветового пространства не надо будет каждый раз рассчитывать цветную плотность, необходимо лишь выбрать нужные значения из карты, соответствующей заданной степени дискретизации. Определение цветовой массы некоторой области цветового пространства в этом случае будет сводиться лишь к определению вхождения элементарного объема в ОЦП и суммированию соответствующих значений цветных масс элементарных объемов.

Однако мы полагаем, что представленная трактовка показателя Θ , как цветовой массы, равно как и само введение понятий цветовой плотности и цветовой массы, требует дальнейшего обсуждения.

Литература

1. Пожарский, А. О. Оценка цветного охвата системы печати посредством объема тела охвата цветов, вычисленного с учетом неоднородности цветового пространства / А. О. Пожарский, И. А. Сысуев // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. — 2006. — № 4 (октябрь — декабрь). — С. 3–12.
2. Пожарский, А. О. Построение тела охвата цветов, воспроизводимых системой печати как часть задачи вычисления его объема / А. О. Пожарский // Омский научный вестник. — 2006. — № 2. — С. 136–138.
3. Пожарский, А. О. Вычисление объема тела охвата по базовым точкам его поверхности / А. О. Пожарский, Т. О. Пожарский, И. А. Сысуев // Свидетельство об отраслевой регистрации № 6507; опубл. 30.06.2006. — М.: ГКЦИТ ОФАП, 2006. — № 50200601138.