

Расчет ошибок коррекции освещения с помощью многомерной гистограммы на основе оригинального стенда

А.В. Погадаев

Институт проблем передачи
информации им. А. А. Харкевича
Москва, Россия
Московский физико-технический
институт (национальный
исследовательский университет)
Москва, Россия
pogadaev.av@phystech.edu

В.А. Васильев

Институт проблем передачи
информации им. А. А. Харкевича
Москва, Россия
Московский физико-технический
институт (национальный
исследовательский университет)
Москва, Россия
vasilev.va@phystech.edu

Е.И. Ершов

Институт проблем передачи
информации им. А. А. Харкевича
Москва, Россия
Московский физико-технический
институт (национальный
исследовательский университет)
Москва, Россия
ershov@iitp.ru

Аннотация—Неравномерность распределения значений на плоскости цветности является причиной малой информативности расчета ошибок алгоритмов коррекции. В работе предлагается новый подход к оценке алгоритмов коррекции освещения, а именно — хроматической адаптации фон Криса и коррекции на основе спектрозональной модели (СЗМ). Наш подход основан на предположении о равномерности распределения значений цветности, но учитывает для этого дополнительные характеристики. Мы вводим понятия дистанции ошибки, дистанции коррекции и направления коррекции и строим взвешенную гистограмму ошибок работы алгоритмов с учетом распределения этих трех величин. Оценка работы алгоритмов производится на основе оригинального стенда — набора данных и программного обеспечения, принимающего на вход результаты работы алгоритмов. Набор данных состоит из 3 100 230 произведений 38 спектров освещения и 4410 спектров окрасок. Для стандартного наблюдателя CIE 1964 при неравномерной плотности тестовых образцов мы получаем ранжирование алгоритмов коррекции, зависящее от используемого метода взвешивания.

Ключевые слова— коррекция освещения, цветокоррекция, сравнение алгоритмов, стенд.

1. ВВЕДЕНИЕ

Традиционно, основным критерием репрезентативности наборов спектров выступает количество образцов [1], однако этого недостаточно для оценки точности алгоритма коррекции освещения. В нашей работе мы производим эту оценку в предположении, что все возможные цветности в наборе данных распределены равномерно. Это позволяет избежать занижения ошибки в нерепрезентативных случаях, например, для точек в наборе данных, которые находятся на окраине плоскости цветности. Решение, которое мы предлагаем, основано на взвешивании ошибок, полученных в результате работы алгоритмов коррекции.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

Пусть Λ — видимый диапазон волн, по которому ведется интегрирование, $\Phi(\lambda)$ — спектр отражательной способности (спектр окраски), $\bar{\Psi}(\lambda)$ — функции спектральной чувствительности, а $S_s(\lambda)$ — спектр источника. Тогда эталонным тристимулом назовем:

$$\bar{c}_s = \int_{\Lambda} \Phi(\lambda) S_s(\lambda) \bar{\Psi}(\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

Возьмем источник $S_t(\lambda) \neq S_s(\lambda)$. Тогда искомым тристимулом назовем:

$$\bar{c}_t = \int_{\Lambda} \Phi(\lambda) S_t(\lambda) \bar{\Psi}(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

Дистанцией коррекции назовем L_2 - норму между откликами \bar{c}_t и \bar{c}_s . Дистанцией ошибки назовем L_2 - норму между результатом работы алгоритма коррекции и искомым откликом в координатах UV:

$$\Delta E^{uv} = \sqrt{(\Delta u)^2 + (\Delta v)^2}. \quad (3)$$

Мы осуществляем разбиение плоскости UV на квадратные секторы со стороной 0,011. Данный выбор обусловлен минимальным значением JND в данной плоскости [2]. Веса, учитывающие распределение образцов на плоскости цветности, для точки i равны:

$$\omega_i^{density} = \frac{n_{max}^p}{n_i^p}; \omega_i^{distance} = \frac{n_{max}^d}{n_i^d}; \omega_i^{angle} = \frac{n_{max}^\phi}{n_i^\phi}, \quad (4)$$

где n_{max}^p — максимальное количество образцов среди всех секторов, n_i^p — количество образцов в i -м секторе, к которому принадлежит точка, n_{max}^d — максимальное значение гистограммы дистанции коррекции, n_i^d — значение гистограммы, соответствующее i -ой дистанции. Для ω_i^{angle} аналогично. Таким образом, комбинированный вес равен:

$$\omega_i = \omega_i^{density} \cdot \omega_i^{distance} \cdot \omega_i^{angle}. \quad (5)$$

3. ОПИСАНИЕ СТЕНДА

В основу стенда были положены данные спектров отражения из наборов USGS [3] и SFU [4], а также 38 спектров различных источников из стандарта CIE [5]. Тристимулу, заданному определенными источником и спектром окраски, ставились в соответствие тристимулы полученные при том же спектре окраски, но под другими источниками освещения. Все получившиеся тристимулы показаны на Рис. 1.

4. ТЕСТИРОВАНИЕ И РАНЖИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ

Для тестирования были отобраны следующие алгоритмы: алгоритм фон Криса в XYZ [6], алгоритм фон Криса в LMS [7] и коррекция на основе спектральной модели [8]. Результаты показаны в таблице I.

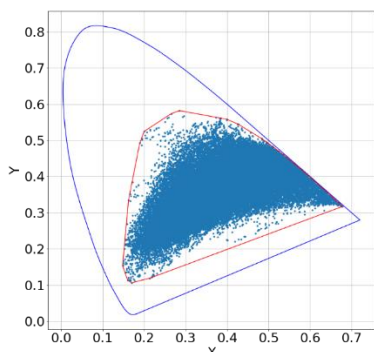


Рис. 1. Синие точки — значения цветности в стенде, красная линия — выпуклая оболочка значений цветности, синяя линия — цветовой треугольник стандартного наблюдателя CIE XYZ 1964

ТАБЛИЦА I. Значения L_2 ошибки алгоритмов с помощью предложенных методов взвешивания

	Коррекция фон Криса в XYZ	Коррекция фон Криса в LMS	Коррекция на основе СЗМ
Среднее без весов	0,0064	0,0068	0,0067
Средневзвешенное с учетом $\omega^{density}$	0,0217	0,0195	0,025
Средневзвешенное с учетом $\omega^{density}$ и $\omega^{distance}$	0,1317	0,0301	0,1646
Средневзвешенное с тремя весами	0,1449	0,0253	0,1821

На Рис. 2 показаны распределения ошибок для коррекции фон Криса в XYZ с разными весами.

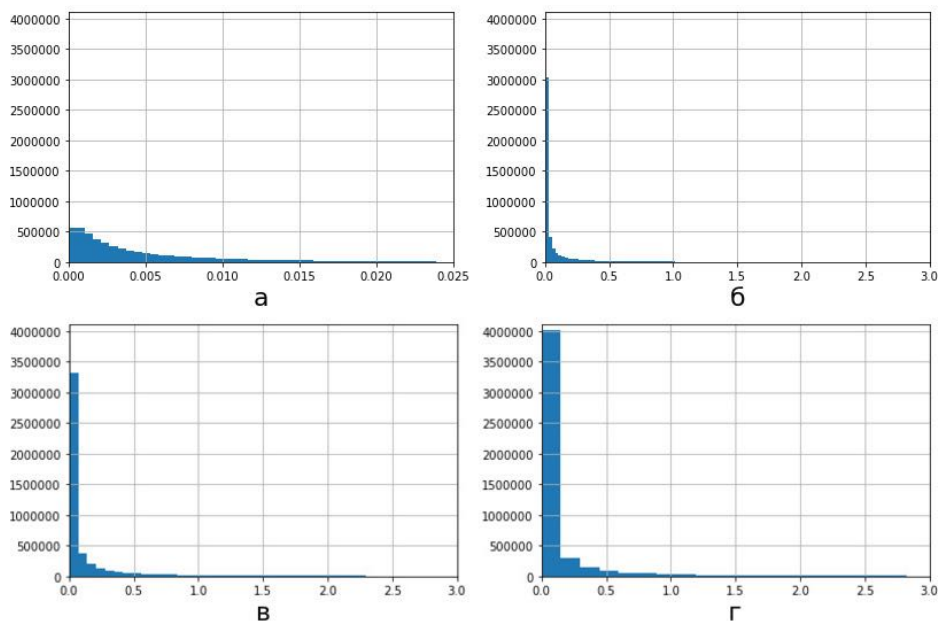


Рис. 2. Распределение ошибок в зависимости от используемых весов. а — без весов, б — с учетом плотности, в — с учетом плотности и дистанции коррекции, г — с учетом всех весов

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был предложен стенд для коррекции освещения и осуществлено ранжирование трех алгоритмов по значениям средневзвешенной ошибки: хроматической адаптации фон Криса в цветовых пространствах XYZ и LMS и коррекции на основе спектральной модели.

В результате было продемонстрировано, что ранжирование алгоритмов меняется в зависимости от используемых весов.

Кроме того, удалось достичь равномерного учета ошибки алгоритмов коррекции с помощью весов на основе введенных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Li, C. Comparison of real colour gamuts using a new reflectance database / C. Li, M.R. Luo, M.R. Pointer, P. Green // Color Research Application. – 2013. – Vol. 39(5) – P. 442-451. DOI: 10.1002/col.21827.
- [2] MacAdam, D.L. Chromatic Adaptation / D.L. MacAdam // J. Opt. Soc. Am. – 1956. – Vol. 46(7). – P. 500-513.
- [3] Kokaly, R.F. USGS Spectral Library Version 7 / R.F. Kokaly, R.N. Clark, G.A. Swayze // U. S. Geological Survey Data Series. – 2017. – 61. DOI: 10.3133/ds1035.
- [4] Simon Fraser University [Electronic resource]. — Access mode: <https://www2.cs.sfu.ca> (07.02.2022).
CIE 15: Technical Report [Electronic resource]. — Access mode: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/cie.15.2004.tables.xls> (07.02.2022).
- [5] Kang, H.R. Computational color technology / H.R. Kang // SPIE. – 2006.
- [6] Kries, A.J. Influence of adaption on the effects produced by luminous stimuli / A.J. Kries // Vieweg, Braunschweig. – 1905. – Vol. 3. – P. 109-282.
- [7] Shepelev, D. Simulation Of Underwater Color Images Using Banded Spectral Model / D. Shepelev, V. Bozhkova, E. Ershov, D. Nikolaev // 34th International ECMS Conference on Modelling and Simulation. – 2020. – Vol. 6. – P. 11-18.