

МЕТОД ЦВЕТОВОЙ КАЛИБРОВКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МАШИННОГО ЗРЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦ)

Кулакова А. Д.¹

(Московский авиационный институт, Москва,
ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Галкин В. А.², Макаренко А. В.³
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Проанализирована проблема цветового искажения изображений, формируемых системами машинного зрения в условиях промышленных теплиц. Рассмотрены методы цветовой калибровки изображений, применяемые для коррекции подобных искажений. Предложен эффективный алгоритм для решения данной задачи, свободный от ряда недостатков. Функционирование алгоритма продемонстрировано на задаче коррекции цветовых искажений томатов, выращиваемых в условиях промышленных теплиц, при искусственном и естественном освещении. Проведен анализ его качества.

Ключевые слова: цветовая коррекция, машинное зрение, промышленные теплицы.

1. Введение

Современные инструменты фото- и видеосъемки подвержены искажению цветопередачи. Каждая комбинация фотоаппарата, объектива и света создают уникальную передачу цвета. В связи с этим естественным образом возникает задача калибровки цвета, направленная на восстановление исходных значений цветовой композиции. Стремительное развитие оборудования

¹ Анна Дмитриевна Кулакова, студент, техник (akulakova29@gmail.com).

² Всеволод Александрович Галкин, студент (galckin.vsevolod@gmail.com).

³ Андрей Викторович Макаренко, к.т.н. (avm.science@mail.ru).

для съемки требует разработки более точных алгоритмов цветокоррекции.

Базовые методы цветокоррекции основаны на использовании калибровочной мишени, представляющей из себя совокупность спектрально нейтральных плашек, цветовые характеристики которых априорно известны с высокой точностью.

Выделяют две группы методов:

- 1) сопоставление гистограмм распределений цветов [4, 5, 6];
- 2) выявление функциональной зависимости между цветами с фотографии и эталонными цветами. Примерами таких методов являются: линейная регрессия, полиномиальная регрессия, корневая полиномиальная регрессия, гомография [2, 3].

Минусом второй группы является необходимость в подборе математической модели при определении приближенной зависимости, от которой напрямую зависит точность алгоритма. Для методов первой группы требуется референсное изображение, полученное без искажения цветов. В то время как для алгоритмов второй группы достаточно фотографии калибровочной мишени в любых условиях. По этим причинам методы, основанные на поиске функциональной зависимости, являются более универсальными и применимы для большего диапазона задач, однако имеют меньшую точность.

Следует отметить, что в последнее время активно развиваются методы, основанные на машинном обучении, например применение гауссовского регрессионного процесса [1].

В данной работе представлен алгоритм, относящийся ко второй группе методов и аппроксимирующий функциональную зависимость с помощью линейной регрессионной модели в пространстве sRGB с использованием цветовой мишени Spyder-Checkr [7] с 48 цветовыми плашками.

Стоит отметить, что задача цветокоррекции имеет широкий спектр практического применения, особенно в тех задачах, где истинные значения цвета объекта имеют ключевое значение. В данной работе результаты будут применены к коррекции цветовых искажений томатов, выращиваемых в условиях промышленных теплиц при искусственном и естественном освещении.

2. Данные

2.1. ИСХОДНЫЕ ФОТОГРАФИИ

Исходные данные представляют собой совокупность фотографий томатов и цветовой мишени, причем подмножеству множества снимков томатов соответствует одна фотография мишени, которая была сделана в тех же условиях освещения. Таким образом, цветовые искажения фотоснимков томатов и цветовой мишени можно в первом приближении считать идентичными. В процессе получения целевых изображений использовался фотоаппарат Canon EOS 600D с разрешающей способностью 5184×3456 пикселей.

2.3. ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ЦВЕТОВОЕ ПРОСТРАНСТВО

Хранить, определять и задавать цвет позволяют цветовые пространства, в которых цвет представляется точкой. Существуют различные вариации цветовых пространств, предназначенные для конкретных задач. Трёхмерное пространство RGB является формой отображения цвета на различных цифровых устройствах. В упомянутой цветовой модели каждый цвет описан набором из трёх координат: каждая из них отвечает компоненте цвета в разложении на красный, зелёный и синий цвета и принадлежит диапазону от 0 до 255. При фотосъёмке существуют два основных цветовых пространства: sRGB и Adobe RGB. Разница между ними заключается в диапазоне захватываемых цветов.

В используемом наборе данных цвет на фотографиях хранится в sRGB-пространстве, основным преимуществом которого является широкий диапазон использования на различных устройствах. Вследствие этого переносимость полученных результатов увеличивается.

2.3. ОБРАБОТКА ФОТОСНИМКОВ

Как было отмечено выше, эталонные цвета мишени априорно известны. Следовательно, для решения задачи цветокоррекции требуется определить цвета плашек мишени на исходных фотографиях.

3. Математическая модель

Формализуем поставленную задачу. Пусть X – спектральные характеристики мишени с исходной фотографии, а Y – эталонные значения цветов (1), где R_{1x} G_{1x} B_{1x} – значения цветов по трём каналам для первой клетки. Соответственно, R_{2x} G_{2x} , B_{2x} – для второй клетки и т.д.

$$(1) \quad X = \begin{pmatrix} R_{1x} & G_{1x} & B_{1x} \\ R_{2x} & G_{2x} & B_{2x} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{48x} & G_{48x} & B_{48x} \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} R_{1y} & G_{1y} & B_{1y} \\ R_{2y} & G_{2y} & B_{2y} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{48y} & G_{48y} & B_{48y} \end{pmatrix}.$$

Существует, но неизвестно и подлежит определению отображение $f: X \rightarrow Y$. В качестве целевого отображения f используем линейную регрессию, которая представляет собой параметрическую функцию и будет являться аппроксимантом неизвестного отображения.

Составим систему (2) линейных уравнений порядка для трёх каналов с неизвестными коэффициентами на примере цветовых значений одной клетки из массивов X и Y соответственно:

$$(2) \quad \begin{cases} R_y = \alpha_0 + \alpha_1 R_x + \alpha_2 G_x + \alpha_3 B_x, \\ G_y = \gamma_0 + \gamma_1 R_x + \gamma_2 G_x + \gamma_3 B_x, \\ B_y = \beta_0 + \beta_1 R_x + \beta_2 G_x + \beta_3 B_x. \end{cases}$$

Матрица (2) является матрицей неизвестных коэффициентов регрессии. Назовём (2) матрицей цветокоррекции и обозначим как CCM (сокращение от Colour Correction Matrix).

$$(3) \quad CCM = \begin{pmatrix} \alpha_0 & \gamma_0 & \beta_0 \\ \alpha_1 & \gamma_1 & \beta_1 \\ \alpha_2 & \gamma_2 & \beta_2 \\ \alpha_3 & \gamma_3 & \beta_3 \end{pmatrix}.$$

Матрица CCM остаётся неизменной для случая с 48 клетками по сравнению с использованием 1 клетки, так как вид уравнений не изменяется.

Для нахождения параметров линейной регрессии обычно используется стохастический градиентный спуск. В некоторых случаях, когда матрица входных данных имеет относительно небольшой размер, можно воспользоваться методом нормального уравнения (4), который дает оценку параметров модели за одну итерацию, однако требует обращения матрицы:

$$(4) \quad Y = X \times CCM, \quad CCM = (X^T \times X)^{-1} \times X^T \times Y.$$

Таким образом, мы получим функциональную зависимость между цветами на фотографии и эталонными цветами. В последствии полученное решение может быть использовано для исправления цветовых искажений фотографий, снятых в тех же условиях.

4. Анализ алгоритма

Проведем визуальный и качественный анализ функциональных характеристик алгоритма. Для этого визуализируем цветовую мишень до и после коррекции цвета. Результаты работы алгоритма приведены на рис. 3, 4.

Продемонстрируем работоспособность алгоритма, построив графики отклонений по каждому из трех каналов между эталонным значением цвета и цветом до и после калибровки (см. рис. 5).

Для качественного анализа точности, вычислим значение ошибки по l_1 метрике в цветовом пространстве RGB. Причем, ошибка по каждому каналу вычисляется обособленно. Полученные оценки погрешности алгоритма приведены в таблицах 1, 2.

Из приведенных результатов можно отметить, что после коррекции, медианная ошибка уменьшилась более чем в 2 раза.



Рис. 3. Визуализация работы алгоритма

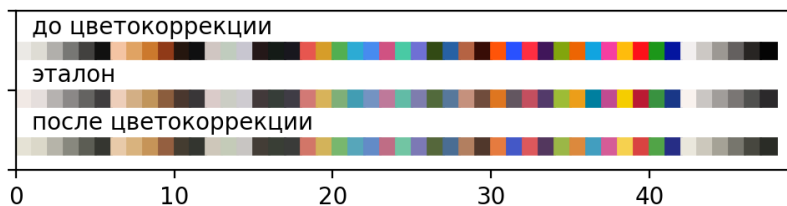


Рис. 4. Сравнение цветов до/после цветокоррекции с эталонными

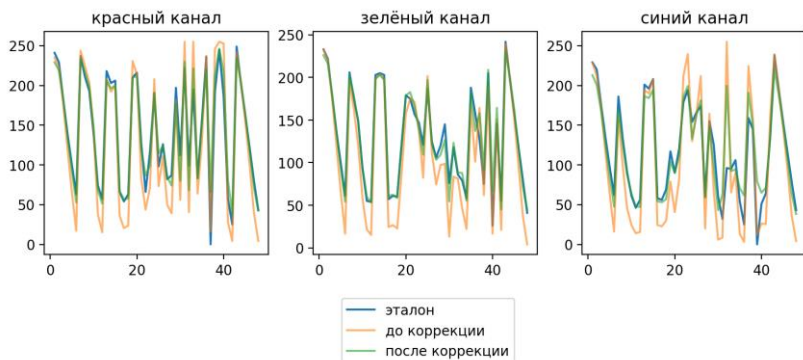


Рис. 5. Сравнение значений цветов по трём каналам

Таблица 1. Ошибки цвета до коррекции

Перцентиль	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>
0,5	0,977	0,320	0,327
5	2,538	1,326	1,388
25	9,920	7,212	15,167
50	20,177	22,536	32,432
75	37,202	35,273	39,493
95	55,127	46,109	56,534
99,5	64,973	61,432	88,322

Таблица 2. Ошибки цвета после коррекции

Перцентиль	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>
0,5	0,039	0,320	1,577
5	0,851	0,605	1,779
25	3,204	2,724	4,841
50	7,289	5,127	10,972
75	13,823	9,205	14,080
95	29,076	21,167	35,726
99,5	55,260	38,507	66,603

5. Применение алгоритма

Как говорилось ранее, фотография калибровочной мишени сделана в таких же конкретных, характерных подмножестве фотографий томатов, условиях освещения и цветопередачи. Следовательно, получив модель для цветокоррекции по фотографии мишени, возможно скорректировать цвета для всех соответствующих снимков томатов. Для примера возьмем фотографию помидора и произведем цветокоррекцию (см. рис. 9–10).



Рис. 9. Исходная фотография томата



Рис. 10. Фотография томата после цветокоррекции

6. Заключение

В представленной работе была решена задача коррекции цвета фотографий томатов, выращиваемых в промышленных тепличных комплексах. Для калибровки цвета использовалась цветовая мишень SpyderCheckr с 48 цветовыми плашками. Медианная точность алгоритма 7,79.

Дальнейшие исследования в данной задаче будут направлены на повышение качества и устойчивости алгоритма, а также применение глубоких нейронных сетей, которые выступают в роли универсального аппроксиматора.

Полученная модель является основой для решения множества сельскохозяйственных задач с применением технологий искусственного интеллекта, таких как автоматическая классификация томатов по сортам и степени зрелости.

Литература

1. AMANI M. et al. *Color Calibration on Human Skin Images* // Int. Conference on Computer Vision Systems. – Springer, Cham, 2019. – P. 211–223.
2. GATTA C., RIZZI A., MARINI D. *Local linear LUT method for spatial colour-correction algorithm speed-up* // IEEE Proc. Vision, Image and Signal Processing. – 2006. – Vol.153, No. 3. – P. 357–363.
3. FANG F. et. al. *Colour Correction Toolbox* // Proc. of the 13th AIC Cong. – 2017. – P. 13–18.
4. FECKER U., BARKOWSKY M., KAUP A. *Time-constant histogram matching for colour compensation of multi-view video sequences* // Proc. 26th Picture Coding Symp. – 2007.
5. NIU H., LU Q., WANG C. *Color correction based on histogram matching and polynomial regression for image stitching* // 2018 IEEE 3rd Int. Conference in Image, Vision and Computing (ICIVC). – IEEE, 2018. – P. 257–261.
6. TITAN G.Y. et. al. *Color correction for panoramic imaging* // Proc. of the 6th Int. Conference on Information Visualisation. – IEEE, 2002. – P. 483–488.
7. <https://www.datacolor.com/photography-design/product-overview/spydercheckr-family/> (дата обращения: 15.08.2021).

**METHOD OF COLOR CALIBRATION OF IMAGES
IN TASKS OF INTELLIGENT COMPUTER
VISION (FOR EXAMPLE, IMAGES OBTAINED
IN INDUSTRIAL GREENHOUSES)**

Anna Kulakova, Moscow Aviation Institute, Moscow, student,
V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow,
technician post (akulakova29@gmail.com).

Vsevolod Galkin, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences
of RAS, Moscow, student (galckin.vsevolod@gmail.com).

Andrey Makarenko, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences
of RAS, Moscow, Ph.D in Cybernetics (avm.science@mail.ru).

Abstract: The article analyzes the problem of color distortion of images generated by computer vision systems in industrial greenhouses. Methods of color calibration of images used to correct such distortions are considered. An effective algorithm for solving this problem, free from a number of disadvantages, is proposed. The operation of the algorithm is demonstrated on the problem of correcting color distortions in tomatoes grown in industrial greenhouses, under artificial and natural lighting. An analysis of its quality has been carried out.

Keywords: color correction, computer vision, industrial greenhouses.

УДК 004.4

ББК 32.972