

Отчет по задаче 2.3: Калибровка цветового сенсора

Егор Серов Б01-1016

13 мая 2025 г.

Содержание

1	Введение	2
2	Теоретические основы	2
3	Методология	2
4	Результаты	2
4.1	Визуализация исходных данных	3
4.2	Визуализация результатов калибровки	3
4.3	Количественная оценка: Коэффициенты корреляции	4
4.4	Количественная оценка: Распределения значений пикселей	4
4.5	Сравнение областей интереса	5
5	Обсуждение	5
5.1	Качество работы моделей	5
5.2	Влияние условий съемки на корректность эксперимента	6
6	Заключение	6

1 Введение

Целью данной работы являлось исследование и реализация методов цветовой калибровки для преобразования цветовых пространств цифровых камер. Конкретно, ставилась задача найти преобразование из RGB-координат камеры Canon EOS-1Ds Mark III (источник) в RGB-координаты камеры Canon EOS 600D (таргет). Использовались полиномиальные (PCC) и корневые полиномиальные (RPCC) методы коррекции, обучение которых проводилось на изображениях цветовых мишеней.

2 Теоретические основы

Формирование цвета сенсором камеры можно описать линейной моделью $c = \int F(\lambda)X(\lambda)d\lambda$, где $F(\lambda)$ – спектральная освещенность, $X(\lambda)$ – вектор функций спектральной чувствительности сенсора, c – регистрируемый цвет. Различия в $X(\lambda)$ у разных камер и явление метамерии (разные спектры $F(\lambda)$ дают одинаковый цвет c) приводят к тому, что точного преобразования цветов между сенсорами в общем случае не существует.

Для аппроксимации используются полиномиальные модели, расширяющие исходное RGB-пространство:

- **PCC (Polynomial Color Correction):** Использует мономы от r, g, b . Например, $P_2 = (r, g, b, r^2, g^2, b^2, rg, rb, gb)^T$.
- **RPCC (Root-Polynomial Color Correction):** Использует радикалы от мономов, где степень корня и монома совпадают (например, \sqrt{rg}), что обеспечивает устойчивость к изменению экспозиции.

3 Методология

Данные для обучения состояли из 197 пар изображений цветовых мишеней с камер Canon EOS-1Ds Mark III (источник) и Canon EOS 600D (таргет). Потребовалась предварительная обработка датасета для сопоставления изображений и коррекции ориентации некоторых из них.

Основные шаги обработки и обучения:

1. Считывание JPEG-изображений и преобразование из sRGB в линейное RGB по стандартным формулам. Калибровка выполняется в линейном пространстве.
2. Извлечение средних линейных RGB-значений для 24 патчей цветовой мишени с использованием предоставленных масок ('mask.txt'), координаты в которых масштабировались.
3. Обучение моделей (Линейная, PCC 2-го и 3-го порядков, RPCC 2-го и 3-го порядков) методом наименьших квадратов для нахождения матрицы преобразования M ($RGB_{target} \approx M \cdot Features(RGB_{source})$).
4. Применение обученных моделей к тестовому изображению и обратное преобразование в sRGB для визуализации.

4 Результаты

Результаты демонстрируются на примере пары изображений #0074.

4.1 Визуализация исходных данных

На Рис. 1 и Рис. 2 показаны изображения источника и таргета (sRGB с разметкой патчей и линейное RGB).

Source Image: Canon1DsMkIII 0074

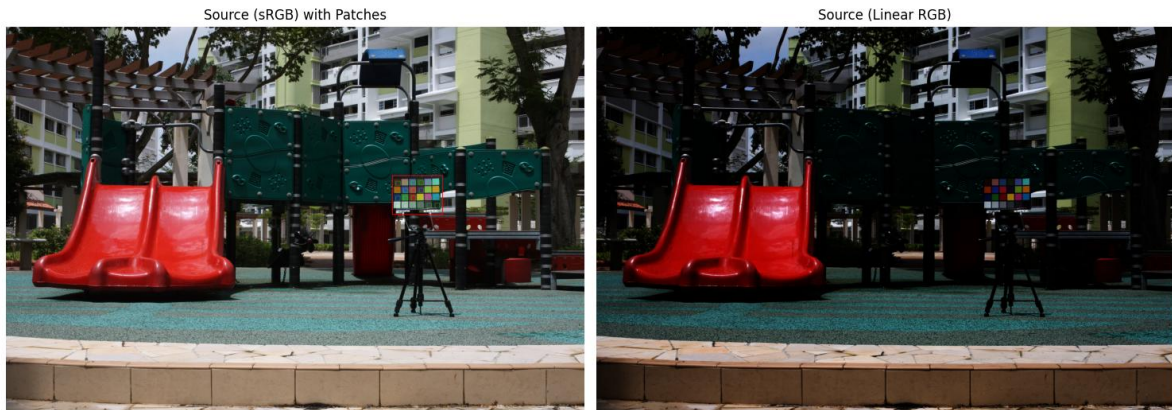


Рис. 1: Изображение-источник (Canon 1DsMkIII, #0074): слева – sRGB с разметкой, справа – линейное RGB.

Target Image: Canon600D 0074



Рис. 2: Изображение-таргет (Canon 600D, #0074): слева – sRGB с разметкой, справа – линейное RGB.

4.2 Визуализация результатов калибровки

Сравнение результатов калибровки различными моделями представлено на Рис. 3.



Рис. 3: Сравнение калибровки (изобр. #0074, все sRGB). Слева направо, сверху вниз: (а) целевое, (б) RPCC 2-го порядка, (в) RPCC 3-го порядка, (г) линейная модель, (д) PCC 2-го порядка, (е) RPCC 2-го порядка.

4.3 Количественная оценка: Коэффициенты корреляции

Коэффициенты корреляции Пирсона для цветов 24 патчей (изображение #0074) приведены в Табл. 1.

Таблица 1: Коэффициенты корреляции Пирсона для патчей (изобр. #0074).

Модель	Корр. R	Корр. G	Корр. B	Средняя корр.
Исходное (до калибровки)	0.9692	0.9759	0.9554	0.9669
PCC 2-го порядка	0.9936	0.9799	0.9802	0.9845
PCC 3-го порядка	0.9926	0.9900	0.9921	0.9916
RPCC 2-го порядка	0.9825	0.9798	0.9767	0.9797
RPCC 3-го порядка	0.9838	0.9865	0.9808	0.9837

Все методы калибровки значительно улучшают корреляцию. Модель PCC 3-го порядка показывает наилучшую среднюю корреляцию (0.9916) для данного тестового изображения.

4.4 Количественная оценка: Распределения значений пикселей

Гистограммы распределения пикселей (Рис. 4 и Рис. 5) показывают сближение распределений откалиброванного изображения (PCC 3-го порядка) с целевым.

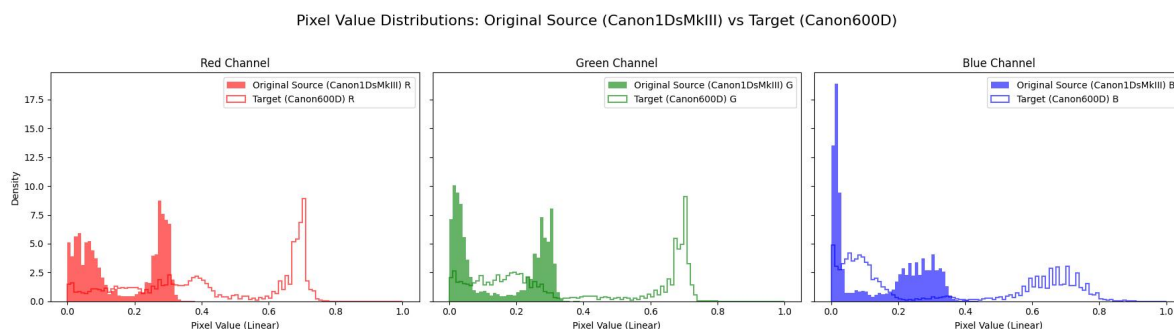


Рис. 4: Гистограммы: исходное (Canon 1DsMkIII) vs целевое (Canon 600D).

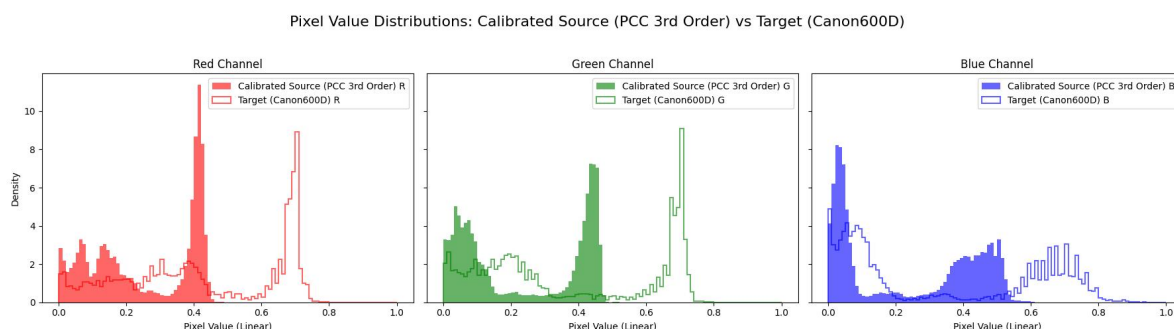


Рис. 5: Гистограммы: откалиброванное PCC 3-го порядка vs целевое (Canon 600D).

4.5 Сравнение областей интереса

Эффект калибровки наглядно виден на увеличенных фрагментах (Рис. 6).

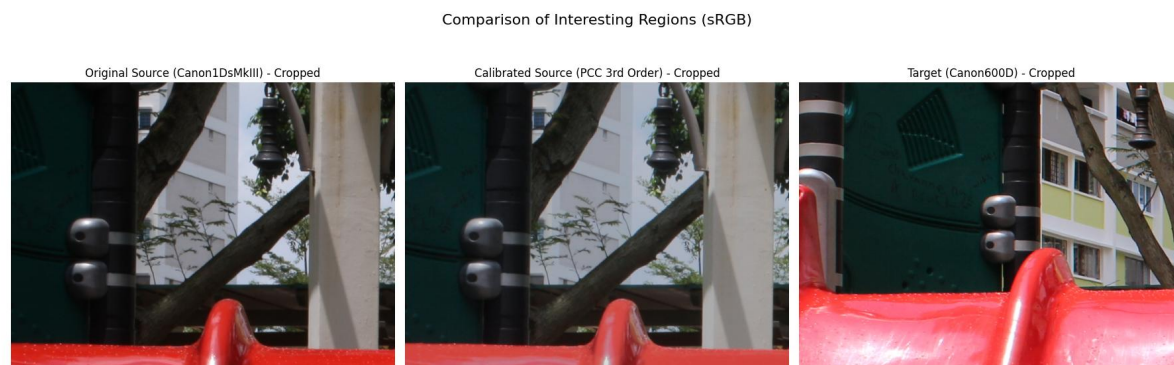


Рис. 6: Сравнение кропов (sRGB): слева – исходное, в центре – откалиброванное (PCC 3-го порядка), справа – целевое.

5 Обсуждение

5.1 Качество работы моделей

Все модели калибровки значительно улучшили цветопередачу, что подтверждается визуально и количественно (рост корреляции, сближение гистограмм). Модели более высокого порядка (PCC3, RPCC3) эффективнее за счет большего числа параметров. PCC 3-го порядка показала наилучшую корреляцию на тестовом изображении. RPCC теоретически более устойчива к изменениям освещенности.

5.2 Влияние условий съемки на корректность эксперимента

Вопрос: "Очевидно, что приведенные изображения отличаются не только используемой камерой, но и условиями освещения. Делает ли это эксперимент математически некорректным и почему?"

Ответ: Да, различия в условиях освещения и ракурсе делают эксперимент "нечистым" для строгой характеристики сенсоров. Идеальная калибровка требует идентичных условий. В данном случае, обученное преобразование M моделирует не только разницу сенсоров, но и "среднюю" разницу в условиях съемки. Для практической цели "сделать изображения с камеры А похожими на камеру Б" в схожих условиях такой подход корректен, но его обобщающая способность на произвольные условия может быть ограничена.

6 Заключение

В работе реализованы и протестированы полиномиальные методы цветовой калибровки (PCC и RPCC) для преобразования цветов между камерами Canon EOS-1Ds Mark III и Canon EOS 600D. Все методы показали значительное улучшение цветопередачи. Модель PCC 3-го порядка продемонстрировала наилучшую точность по коэффициентам корреляции на тестовом изображении. Учтено влияние различий в условиях съемки на интерпретацию результатов калибровки. Для практических задач согласования изображений с разных камер в схожих условиях данный подход эффективен.