

# Как использовать цветное виньетирование для улучшения точности цветопередачи?

Л.В. Шепелев

Московский физико-технический институт (НИУ),  
Институт проблем передачи информации  
Долгопрудный, Россия  
shepelev.lv@phystech.edu

А.С.Чумаченко

Московский физико-технический институт (НИУ),  
Институт проблем передачи информации  
Долгопрудный, Россия  
chumachenko.as@phystech.edu

И.А.Ермаков

Московский физико-технический институт (НИУ),  
Институт проблем передачи информации  
Долгопрудный, Россия  
ermakov.ia@phystech.edu

Е.И.Ершов

Институт проблем передачи информации, Московский  
физико-технический институт (НИУ)  
Москва, Россия  
ershov@iitp.ru

**Аннотация**—В работе предложен метод улучшения точности перехода из цветового пространства камеры в пространство стандартного наблюдателя CIE XYZ 1931 за счет эффекта цветного виньетирования. Суть метода заключается в плотном стереосопоставлении пикселей одного и того же объекта, снятого с разных ракурсов. За счет увеличения числа цветовых признаков объекта осуществляется более точный переход в пространство стандартного наблюдателя. Согласно результатам вычислительных экспериментов, в среднем точность преобразования увеличилась в 3 раза.

**Ключевые слова**—Стандартный наблюдатель, Цветовое пространство, Преобразование цветовых координат, Цветовое виньетирование, Цветовая коррекция, Стереосопоставление.

## 1. Введение

Эффект яркостного виньетирования, обусловленный неидеальностью оптической системы, заключается в падении интенсивности излучения от центра изображения к периферии и описывается с помощью полиномиальной модели Хана-Вайса [1] или с помощью закона косинуса четвертой степени [2]. В камерах смартфонов возникает ещё и эффект цветного виньетирования (ЦВ), при котором варьируется от центра к краям кадра как интенсивность излучения, так и его спектральный состав.

Эффект ЦВ возникает, в частности, из-за того, что в мобильном телефоне линза, ИК-фильтр и светочувствительная матрица близко расположены. Поэтому длина хода лучей, проходящих ИК-фильтр под разными углами, значительно отличается, из-за чего близкий к инфракрасной области спектр излучения подавляется в разной степени.

Помимо этого, светочувствительные элементы матрицы смартфона улавливают меньше фотонов света, что значительно повышает шум на изображениях. Чтобы решить эту проблему, матрица покрывается массивом микролинз, вследствие чего возникают дополнительные хроматические aberrации, искажающие итоговую спектральную чувствительность в пикселе.

Обычно в современных конвейерах обработки сырых изображений [6] для улучшения изображения производители камер смартфонов пытаются устранить этот эффект, однако его можно использовать для улучшения качества цветовой репродукции. Возможно

использовать неоднородность спектральных свойств камеры, чтобы точнее колориметрически определить цвет, пронаблюдав одну и ту же точку сцены разными пикселями, что проиллюстрировано на рисунке 1.

## 2. Описание решения

В данной работе предлагается использовать панорамные снимки или кадры видео, в которых пиксели сцены сняты разными частями сенсора камеры. Благодаря эффекту цветного виньетирования при съёмке разными пикселями матрицы получаются два линейно независимых вектора откликов камеры. Используя алгоритмы стереосопоставления, возможно сопоставить на двух кадрах пиксели, соответствующие одной и той же точке сцены, а, следовательно, получить пары откликов. Далее такую сопоставленную пару пикселей будем называть *суперпикселем*.

### 1. Преобразование

Каждому целевому тристимулу в пространстве CIE XYZ теперь соответствует шестимерный вектор в объединённом цветовом пространстве двух разных пикселей сенсора. В данной работе мы считаем, что цветовое пространство всех суперпикселей совпадает. Преобразование в пространство стандартного наблюдателя выполняется с использованием линейного преобразования, заданного матрицей  $3 \times 6$ . Поиск параметров матрицы выполнялся с помощью МНК. Для оценки точности предсказания тристимула использовалась угловая ошибка (угол между предсказанным и истинным вектором).

### 2. Сопоставление

Цель стереосопоставления — получение карты диспаратности, состоящей из относительного построчного смещения объектов на фотографиях. Другими словами, для каждого пикселя на левом изображении в карте диспаратности хранится смещение этого пикселя по горизонтальной оси до его положения на правом изображении. Распределение координатных ошибок было получено при помощи современного нейросетевого алгоритма стереосопоставления LEAStereo [3], который обучался и тестировался на датасете Kitty 2012 [4]. Для оценки качества сопоставления использовалась метрика, показывающая процент пикселей, у которых предсказанная координата отличается от истинной более чем на 3 пикселя.

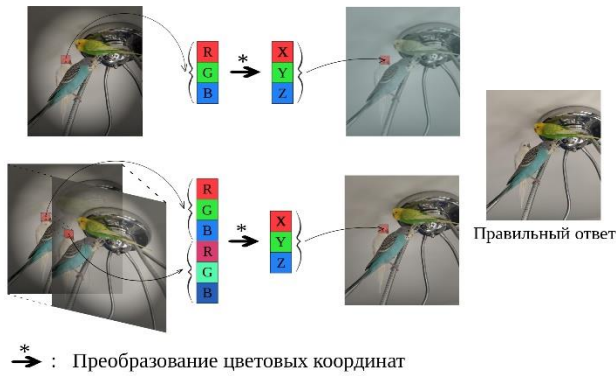


Рис. 1. Иллюстрация предлагаемого метода преобразования координат

### 3. Датасет и результаты

Для проверки гипотезы, что использование суперпикселей позволяет улучшить качество перехода в пространство стандартного наблюдателя, использовался датасет из 45 гиперспектральных изображений разрешением 512 x 512 [5]. Для имитации панорамной съемки из каждого гиперспектрального изображения были сгенерированы стереопары с постоянным смещением 40 пикселей, разрешением соответствующим размерам матрицы камеры смартфона с известными спектральными чувствительностями. Таким образом, было получено 1470 пар гиперспектральных изображений разрешением 145 x 109 с известными картами диспаратности, которые представляют фиксированный сдвиг для всех пикселей, кроме краевых.

Поскольку для использованного метода генерации стереоизображений карта диспаратности однородная и известна заранее, в работе используется имитация шума ошибок алгоритма плотного стереосопоставления. Для датасета Kitti 2012 [3] было измерено распределение ошибок сопоставления современного нейросетевого алгоритма LEAStereo [4]. Далее, на наши однородные карты был наложен измеренный координатный шум.

Изображения в собственном пространстве и эталонное изображение в XYZ синтезировались с использованием гиперспектральных изображений, спектральных чувствительностей стандартного наблюдателя и сенсора мобильного телефона. Затем соответствующие картинки совмещались и осуществлялось преобразование шестиканальных изображений из собственного пространства в XYZ с помощью МНК. После этого, сравнивая истинный XYZ и предсказанный, для каждого пикселя вычислялась угловая ошибка преобразования. Для вычисления матрицы линейного преобразования имеется два сценария: можно рассчитывать матрицу для каждого изображения по отдельности (Сценарий 1) или для всех изображений сразу (Сценарий 2). Средние ошибки для обоих сценариев представлены в таблице 1. Распределение ошибок предложенного и классического подходов для сценария 1 представлено на рисунке 2.

Таблица 1. СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ УГЛОВОЙ ОШИБКИ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

	Средняя ошибка в сценарии 1	Средняя ошибка в сценарии 2
6 КАНАЛОВ	0,621	1,567

	Средняя ошибка в сценарии 1	Средняя ошибка в сценарии 2
3 Канала	0,807	4,504

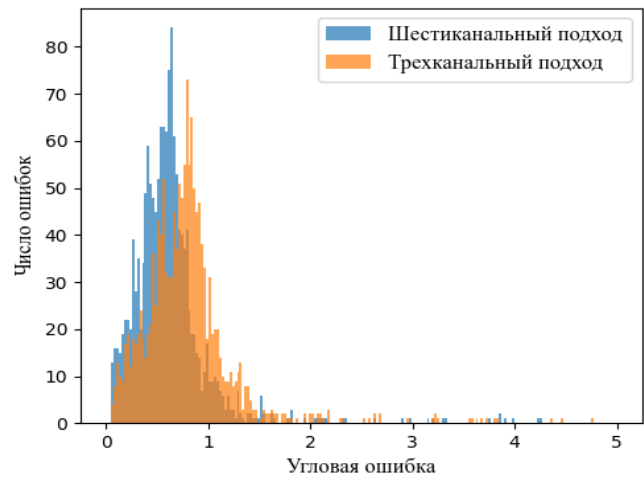


Рис. 2. Гистограмма ошибок преобразований цветовых координат

### 4. Обсуждение

По результатам экспериментов гипотеза подтверждена: использования эффекта цветового виньетирования позволяет улучшить качество перехода в пространство стандартного наблюдателя. В первом сценарии ошибка для каждой картинке в среднем уменьшилась на 25%. Во втором сценарии средняя ошибка уменьшилась в 3 раза, что можно назвать очень хорошим результатом. Стоит также отметить, что шум сопоставления, который приближает наши карты диспаратности к картам, полученным в результате работы нейросетевых алгоритмов, ухудшил качество всего на 0,37%, а значит, можно предположить, что в реальных условиях предложенный в работе метод будет работать примерно с таким же качеством.

### Литература

- [1] Goldman, D. B. Vignette and exposure calibration and compensation. / D. B. Goldman and J.-H. Chen // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2005. – Vol. 32. – P. 2276–2288.
- [2] Aggarwal, M. Hong Hua, and Narendra Ahuja. On cosine-fourth and vignetting effects in real lenses / M. Aggarwal, H. Hua, and N. Ahuja // In Proceedings Eighth IEEE International Conference on Computer Vision. – Vol. 1. – P. 472–479.
- [3] Geiger, A. “Are we ready for autonomous driving?”. In: The KITTI Vision Benchmark Suite / A. Geiger, P. Lenz and R. Urtasun // 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2012. – P. 3354–3361.
- [4] Cheng, X. “Hierarchical Neural Architecture Search for Deep Stereo Matching” / X. Cheng, Y. Zhong, M. Harandi Y. Dai X. Chang, T. Drummond, H. Li, Z. Ge // In: NeurIPS 2020. – 2020.
- [5] Ярчук, Д. Оценка качества статических алгоритмов оценки спектра освещения по гиперспектральным изображениям / Д. Ярчук, В. Тесалин, Е. Ершов // ИТИС-2022.
- [6] Can, H. A Software Platform for Manipulating the Camera Imaging Pipeline / Can, Hakki & Brown, Michael // European Conference on Computer Vision. – 2016. – Vol. 9905. – P. 429–444.