

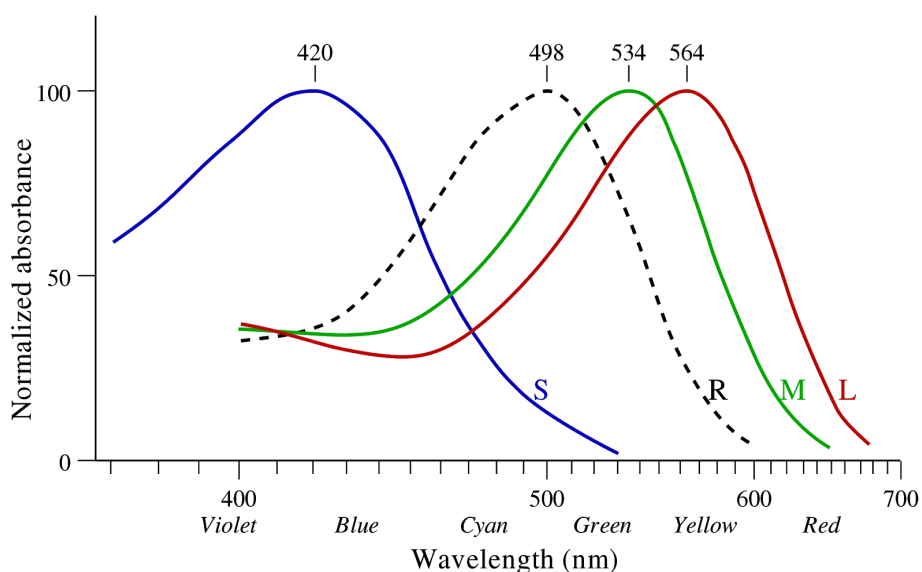
1. Физическая ремарка

Свет - электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом. Как и любое электромагнитное излучение он описывается своим спектром. На спектр можно смотреть как на функцию $f(x)$: $[380\text{nm}, 780\text{nm}] \rightarrow \mathbb{R}^+$, задающую мощность (абсолютную или относительную) излучения для каждой конкретной длины волны, независимую от мощностей волн других длин. Для каждой длины волны существует монохроматическое излучение, т.е. излучение одной длины волны и эти излучения можно складывать и расщеплять с помощью призмы. Таким образом, монохроматические излучения (их спектральные функции) можно воспринимать как базис всех спектров бесконечного размера.

Из вышесказанного стоит вынести, что цвет (свет от объекта) в общем случае невозможно описать конечным числом переменных, можно лишь приближать его гистограммами.

2. Биологическая ремарка

В глазу человека есть два типа светочувствительных элементов - палочки и колбочки. Первые воспринимают спектр одинаково, таким образом в сумме лишь яркость/мощность излучения. Спектральная зависимость чувствительности колбочек же к свету различна у трёх разных типов колбочек, что позволяет видеть различные оттенки света.



Собственно, если обозначить функции, указанные на графике за $g(x)$, то яркость, воспринимаемая отдельным светочувствительным элементом равна:

$$I = \int_{380}^{780} f(x)g(x)dx$$

Вспоминая первый пункт, и понимая, что оттенок, воспринимаемый человеческим глазом, описывается тремя координатами, делаем вывод, что соответствие между физическим “цветом”, т.е. спектром и восприятием этого спектра человеком неоднозначно (конечный базис против бесконечного).

Таким образом, “человеческому цвету” соответствует множество спектров - явление метамерии, такие множества иногда называют метамерами.

Более того, такие “человеческие” цвета как коричневый, не соответствуют ни одному монохроматическому цвету (в радуге не коричневого).

Важно отметить, что количество рецепторов каждого типа не одинаково - больше всего в глазу рецепторов, отвечающих за зелёный цвет.

3. Историческая справка

Один из интересных способов цветной фотографии был использован нашим соотечественником - Прокудиным-Горским. Суть метода состояла в использовании трёх фотоаппаратов с тремя светофильтрами соответствующим модам цветов различных типов колбочек (примерно). После съёмки, используя три плёнки и три проектора можно было получить цветное изображение. В дальнейшем была разработана и методика печати таких фотографии.

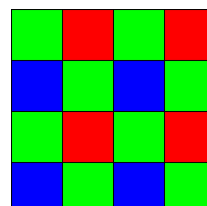
Этот метод имеет очевидные проблемы - сложность и дороговизна оборудования, необходимость точного совмещения трёх фотографии (как при съёмке, так и при печати). При этом точное совмещение невозможно, т.к. при съёмке каждый фотоаппарат видит объекты под разными углами.

4. Различные матрицы

Решением явилось чередование различных типов сенсоров в некотором смысле аналогично тому, как это происходит в человеческом глазу:

4.1 Байеровский фильтр

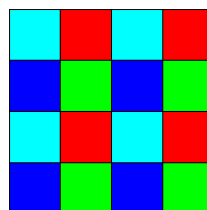
Просто самый распространенный фильтр.



4.2 RGBE - От Sony

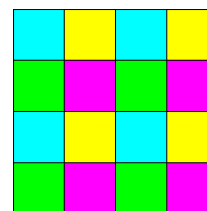
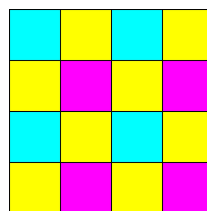
Применялся фирмой Sony в фотоаппарате Sony CyberShot DSC-F828 для улучшения цветопередачи.

Снимки, сделанные с применением таких матриц, отличаются более плавными переходами голубых цветов и зелёной листвы.



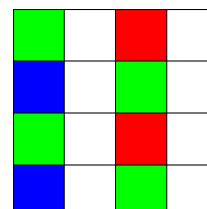
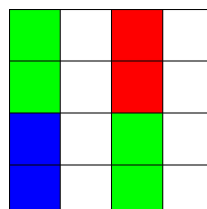
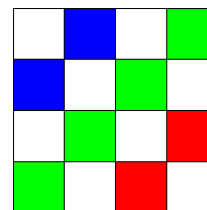
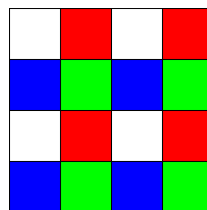
4.3 CYYM и CYGM - от Kodak

Отличается от обычного фильтра Байера большей светочувствительностью матрицы и худшей цветопередачей.



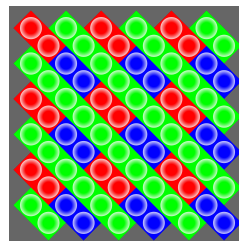
4.4 RGBW-0..3

Применяются там, где важнее чёткость, а информация о цвете вторична, например, в системах видеонаблюдения.



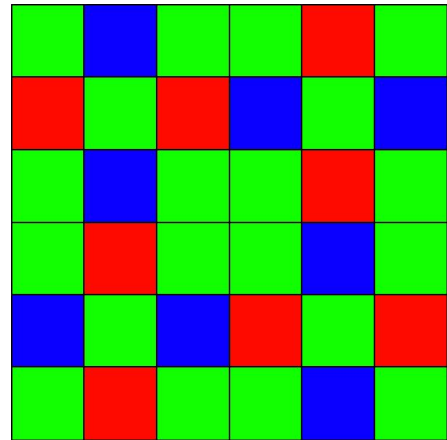
4.5 Fujifilm "EXR"

Примечателен скорее тем, что матрицы с данным фильтром позволяют снимать фотографии с высоким динамическим диапазоном (который HDR; грубо говоря - снимать очень яркие объекты вместе с тёмными, чтобы видны были все объекты), т.к. сенсоры могут снимать одновременно с двумя выдержками.



4.6 xTrans

Данный фильтр уменьшает эффект муара (см. ниже), характерный для фильтра байера. Это позволило убрать антимуарный фильтр в фотоаппарате Fujifilm X-Pro 1 и повысило детализацию снимков



5. Дебайеризация

Фотографии из фотоаппарата сохраняются в формате .RAW (массив интенсивностей пикселей). Далее они преобразуются в требуемый пользователю формат при помощи алгоритмов дебайеризации с учётом знаний физической структуры матрицы.

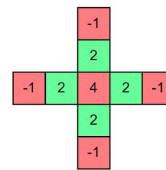
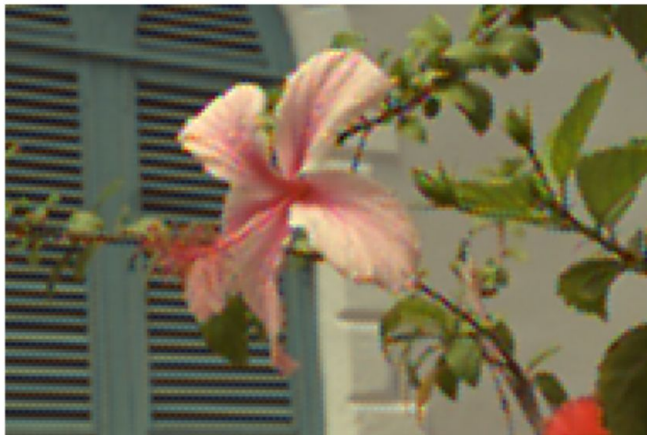
Профессиональные пакеты включают в себя различные, в том числе патентованные многоступенчатые алгоритмы с фильтрами и т.п. и т.д. Мы рассмотрим примитивный и чуть менее примитивный алгоритмы, а для сравнения профессиональных пакетов рассмотрим иллюстрацию. На ней изображены (слева направо): 1. SilkyPix Developer Studio, 2. Встроенный алгоритм камеры Canon PowerShot A610, 3. Adobe Camera RAW.



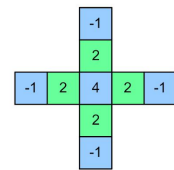
Вариант примитивной дебайеризации - билинейная интерполяция: будем рассматривать окно размера (3, 3) с центром в текущем пикселе. Неизвестные значения цветов будем восстанавливать, вычисляя среднее значение известных пикселей этого цвета в окне. Достаточно грубый метод, при его использовании возникают различные артефакты

Менее тривиальный метод - из статьи "HIGH-QUALITY LINEAR INTERPOLATION FOR DEMOSAICING OF BAYER-PATTERNED COLOR IMAGES" сводится к использованию окна (5,5) и применению более сложных правил вычисления весов пикселей.

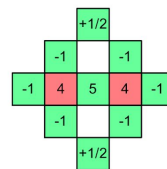
Сравнение двух описанных выше методов (смотрите на стебли)



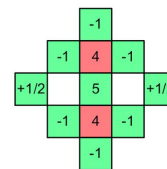
G at R locations



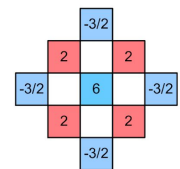
G at B locations



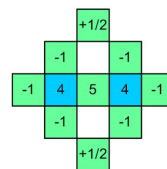
R at green in
R row, B column



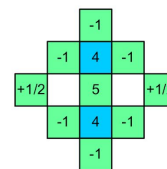
R at green in
B row, R column



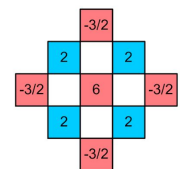
R at blue in
B row, B column



B at green in
B row, R column



B at green in
R row, B column

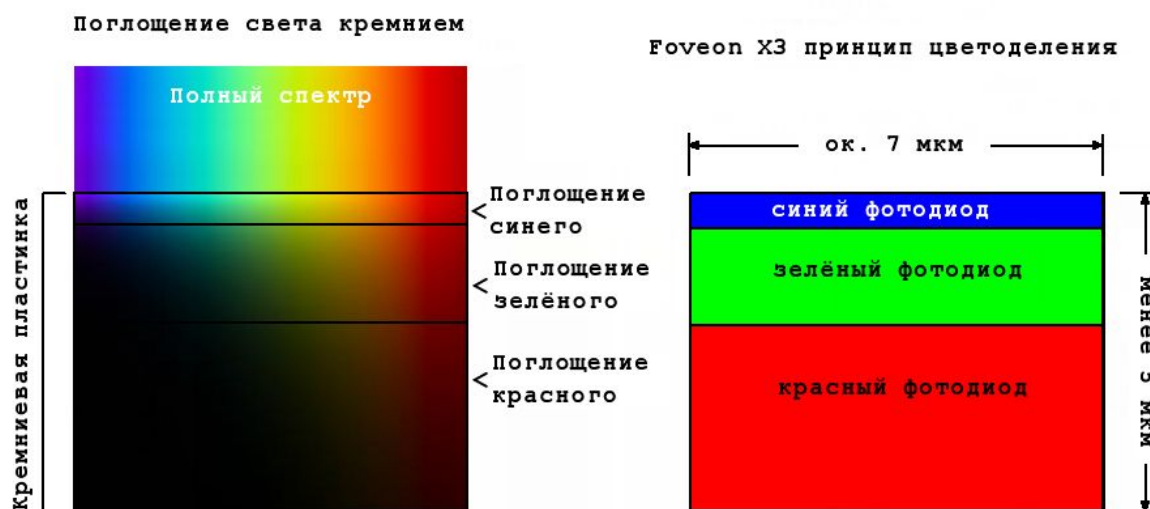


B at red in
R row, R column

Для не-байеровых матриц также существуют свои алгоритмы demosaicing'a. В простейшем случае, для матриц с тремя цветами, применимы те же билинейные интерполяции, как в примитивном варианте, для матриц с четырьмя можно использовать линейные зависимости между четырьмя цветами.

6. Foveon X3

Для изучения альтернативного решения проблемы требуется рассмотреть, как работает сама матрица. Она по сути является массивом светодиодов, выполненных на кремнии. Кремний же, в свою очередь, пропускает свет. Однако, поглощение света кремнием зависит от длины волны. Это позволяет разместить фотоэлементы друг над другом, на разных глубинах в кремнии и воспринимать сразу три цвета один элементом.



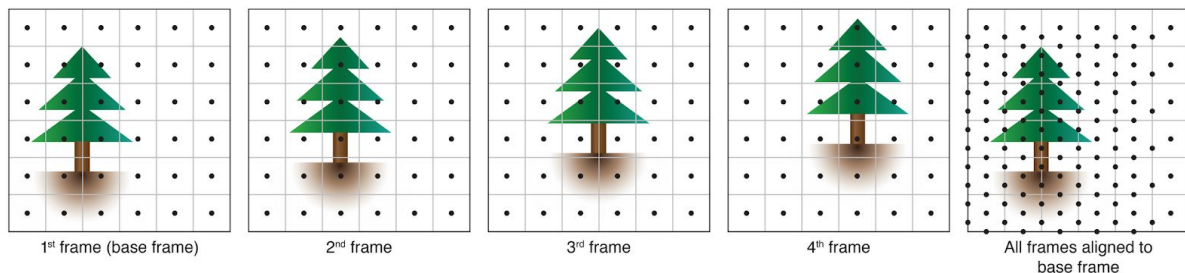
Данная матрица не требует получения значений всех цветов во всех точках изображения и не нуждается в дебайеризации. Это позволяет избавиться от различных дефектов, в частности мюра. Интересной особенностью данной матрицы является возможность динамически объединять пиксели в группы, что позволяет увеличивать чувствительность матрицы ночью. Из недостатков стоит отметить, что цветопередача в данном случае не идеальна и принципиально завязана на используемый материал. Также стоит заметить, что в сравнении с обычной матрицей с тем же количеством пикселей, данная матрица получает больше информации.

7. Альтернативное решение из мира вычислительной фотографии

Вместо изменений физических свойств матрицы и алгоритмов дебайеризации можно пойти совершенно альтернативным путём - снять последовательность снимков и программно пытаться получить из них одно хорошее изображение. Такой подход особенно популярен в смартфонах, где установить серьёзную матрицу и оптику невозможно ввиду размеров устройства, однако есть некоторые вычислительные мощности.

В недавней статье “Handheld Multi-frame Super-resolution” была представлена следующая идея: при съёмке на камеру телефона “с рук” эти самые руки пользователя всегда немного дрожат. Получив серию снимков обычной матрицей с обычным фильтром байера, можно выяснить их относительные смещения. Далее, накладывая смещенные изображения друг на друга мы получим для каждого участка изображения некоторую оценку интенсивности каждого канала, т.к. при движении камеры разные участки суммарного изображения попадают в фотоэлементы, отвечающие за разные цвета.

Иллюстрация из статьи:



Это позволяет заметно улучшать качество изображений (примеры из статьи)

