

Матрицы цифровых фотоаппаратов

Материалы по дисциплине «Установка и конфигурирование ПУ»

Специальность «Компьютерные системы и комплексы»

Составитель: Торгашин Р.Г

ГБПОУ ВО "Борисоглебский техникум промышленных и информационных технологий"

2016 год

Оглавление

Массивы фильтров.....	3
Типы матриц.....	9
CCD (ПЗС-матрица).....	9
CMOS (КМОП-матрица).....	11
Сравнение CMOS и CCD технологии.....	12
Параметры матриц.....	13
Разрешение матрицы фотоаппарата.....	13
Физический размер матрицы.....	13
Светочувствительность матрицы фотоаппарата.....	15
Источники.....	16

Массивы фильтров

Матрица является устройством, воспринимающим спроецированное на него изображение. Поскольку полупроводниковые фотоприёмники примерно одинаково чувствительны ко всем цветам видимого спектра, для восприятия цветного изображения каждый фотоприемник накрывается светофильтром одного из первичных цветов: красного, зелёного, синего (цветовая модель RGB)

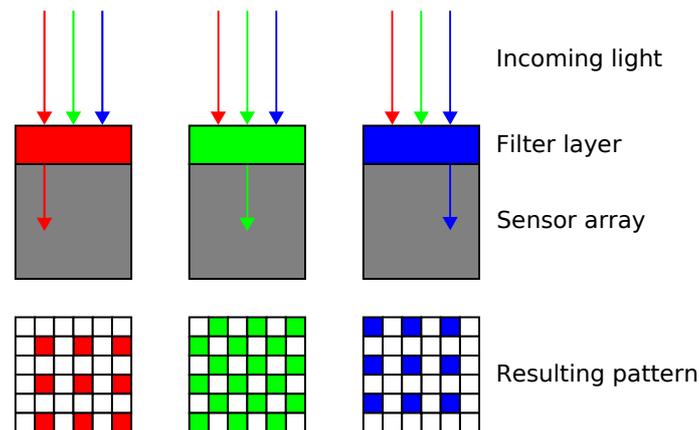


Рисунок 1: Принцип действия элементов массива Байера Автор: Cburnett

Вследствие использования фильтров каждый фотоприемник воспринимает лишь 1/3 цветовой информации участка изображения, а 2/3 отсекается фильтром. Для получения остальных цветовых компонент используются значения из соседних ячеек. Недостающие компоненты цвета рассчитываются процессором камеры на основании данных из соседних ячеек в результате интерполяции

Фильтр Байера (шаблон Байера) — это двумерный массив цветных фильтров, которыми накрывы фотодиоды фотоматриц. Используется для получения цветного изображения в матрицах цифровых фотоаппаратов, видеокамер и сканеров. Фильтр Байера состоит из 25% красных элементов, 25% синих и 50% зелёных элементов, расположенных как показано на рисунке¹.

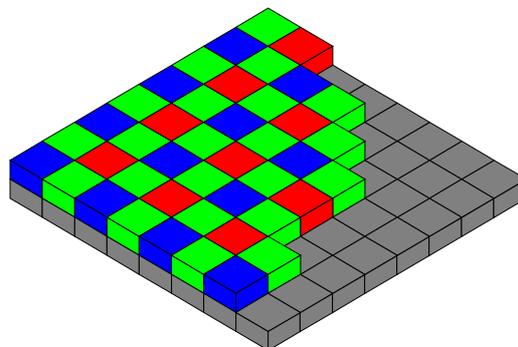


Рисунок 2: Массив цветных фильтров Байера. Автор: Cburnett

Рассмотрим следующий пример применения фильтра Байера:

¹ https://ru.wikipedia.org/wiki/Фильтр_Байера

Сфотографируем исходный объект



Рисунок 3: Исходное изображение

Изображение будет разбито на цветовые составляющие

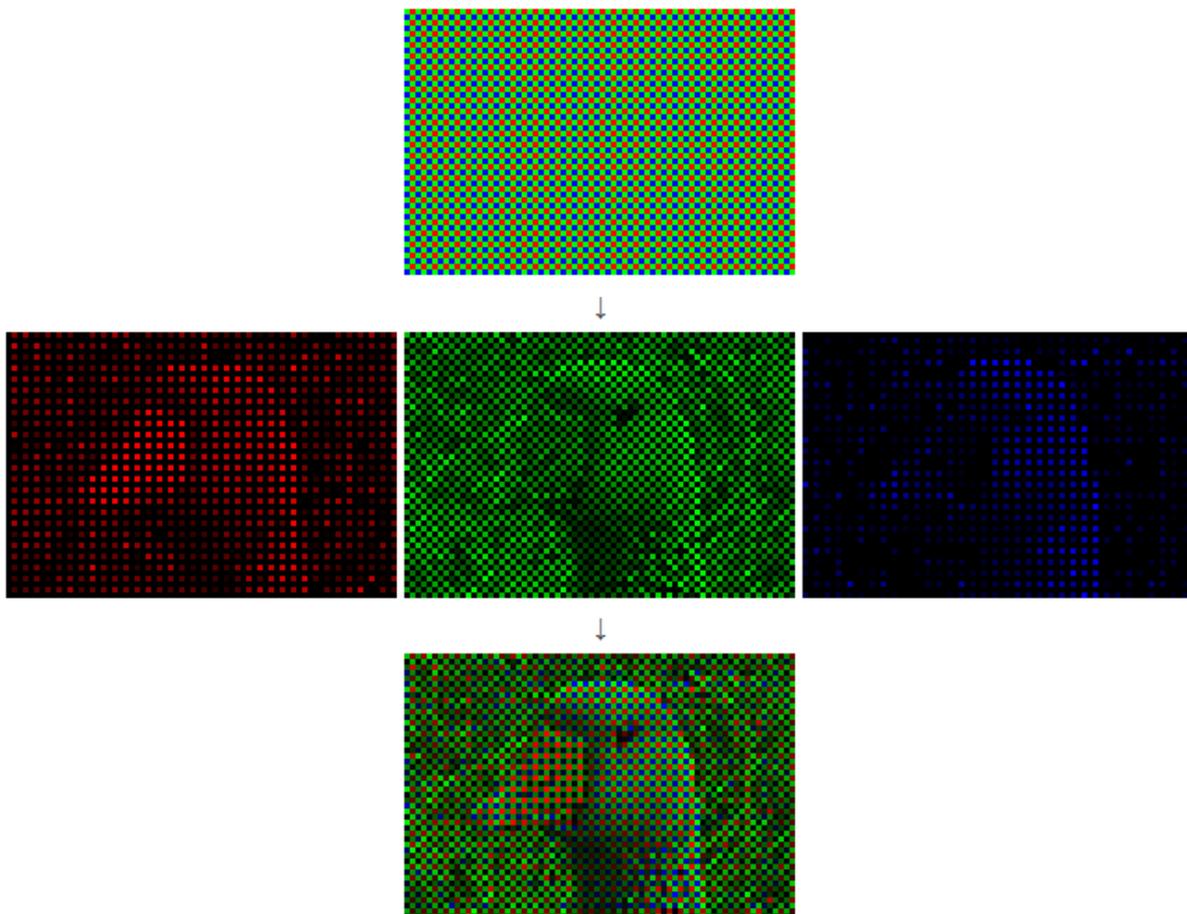


Рисунок 4: Сверху вниз: Весь массив пикселей. Изображение закодированное в пикселях разных цветов. Итоговое изображение

Таким образом, мы получили изображение, каждый пиксель которого содержит только одну цветовую составляющую одной из предметных точек, спроецированных на него объективом. И только 4 предметных точки, рядом расположенных и спроецированных объективом на блок пикселей RGGB, приблизительно формируют полный набор RGB 1-й усредненной предметной точки. Далее, процессор камеры должен, используя специальные математические методы интерполяции, рассчитать для каждой точки недостающие цветовые составляющие. В результате получается следующее изображение.

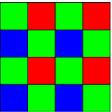
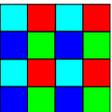
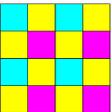


Рисунок 5: Изображение после интерполяции

Как видно на картинке, это изображение получилось более размытым, чем исходное. Такой эффект связан с потерей части информации в результате работы фильтра Байера. Для исправления процессор фотоаппарата должен повысить чёткость изображения. Процесс искусственного повышения чёткости называется **Sharpening**. Дополнительно, в этот момент процессор может применить и другие операции: изменить контрастность, яркость, подавлять цифровой шум и т. д. в зависимости от модели аппарата. Получение более чётких изображений в первую очередь достигается увеличением количества пикселей сенсора, что уменьшает его размытость. Так как вычислительная мощность процессора фотоаппарата ограничена, многие фотографы предпочитают делать эти операции вручную на персональном компьютере. Чем дешевле фотоаппарат, тем меньше возможностей повлиять на эти функции. В профессиональных фотокамерах функции коррекции изображения отсутствуют совсем, либо их можно выключить.

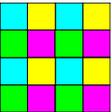
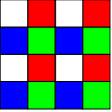
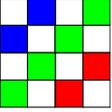
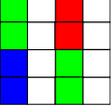
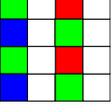
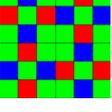
Современные модели однообъективных зеркальных цифровых фотоаппаратов (и некоторые компактные фотокамеры) позволяют записывать изображения в т. н. «сыром» Raw-формате, где изображение записывается в виде сигналов яркости в каждом диоде, то есть в черно-белом виде, не неся никакой цветовой формы, и в файл записываются данные, полученные напрямую с матрицы, которые в процессе интерполяции формируют изображение в любом виде на компьютере, обладающем намного большей вычислительной мощностью и возможностями ручного управления параметрами преобразований, что находит применение при решении различных фотометрических задач².

Таблица цветных фильтров³

схема	название	описание	размер элемента (пиксели)
	Фильтр Байера	Наиболее распространенный RGB фильтр. 1 синий, 1 красный, 2 зелёных	2×2
	RGBE	Один из зелёных фильтров заменён на изумрудный (англ. <i>emerald</i>). Применялся фирмой Sony в 8-мегапиксельной матрице ICX456 и в фотоаппарате Sony CyberShot DSC-F828.	2×2
	CYYM	Голубой, 2 жёлтых, пурпурный. Kodak.	2×2

² P A Chermkhin, V V Lesnichii and N V Petrov [Use of spectral characteristics of DSLR cameras with Bayer filter sensors](#) // Journal of Physics: Conference Series Email alert RSS feed. — № 536. — С. 012021. — ISSN 1742-6596

³ https://ru.wikipedia.org/wiki/Массив_цветных_фильтров

	CYGM	Голубой, жёлтый, зелёный, пурпурный. Применяется в некоторых камерах Kodak.	2×2
	RGBW Байер	один из зелёных фильтров заменён на белый, в остальном аналогичен стандартному фильтру Байера. Незначительно выигрывает в светочувствительности и на примерно 1 ступень выигрывает в фотографической широте.	2×2
	RGBW #1	три примера RGBW фильтров Kodak, с 50% белого. По сравнению с остальными, выигрывают в светочувствительности и фотографической широте и проигрывает в цветопередаче. Между собой отличаются необходимыми алгоритмами обработки и характером структурного шума (англ. <i>pattern noise</i>), создаваемого большим (по сравнению с традиционным фильтром Байера) пространственным периодом структуры фильтра. Нашел применение там, где требуется высокая светочувствительность, а цветовая информация вторична: системы технического телевидения, видеонаблюдение, автомобильные видеорегистраторы.	4×4
	RGBW #2		
	RGBW #3		
	X-Trans	Благодаря большей области повторения структуры X-Trans (6×6) уменьшается муар, что позволило убрать антимуарный фильтр в фотоаппарате Fujifilm X-Pro 1 и повысило детализацию снимков.	6×6

Антиалиасинговый, сглаживающий, размывающий или низкочастотный фильтр - в разных источниках может использоваться любое из этих названий.

Данный фильтр наносится на матрицу перед цветным фильтром. Его основное назначение это устранение муара на фотографиях, возникающего при съёмке так называемых регулярных структур (часто повторяющихся элементов). Например муар может возникать на кирпичной стене или ткани пиджака, блузки и т.д. Чем более агрессивный сглаживающий фильтр используется, тем меньше вероятность возникновения муара, но такие фильтры имеют и обратную сторону медали: они размывают картинку фотографии и при детальном рассмотрении получаются нечёткими, размазанными (замыленными). Правда, ощутимая разница между фотографиями сделанными матрицами с фильтром и без возникает только при использовании качественной, резкой оптики. Однако развитие цифровых фотоаппаратов в сторону упрощения их использования, стремление получить конечный продукт — jpg файл, не увеличивая затрат на обработку непосредственно в фотоаппарате, привели к решению о применении рассеивающего фильтра. Это стало компромиссным решением, ныне массово применяемым.

Несмотря на то, что сейчас размывающий фильтр используется в подавляющем большинстве матриц с мозаичными цветовыми фильтрами, в течение 2013 года наметилась тенденция по отказу от сглаживающих фильтров для повышения качества резкости и детализации фотографий.

Строго говоря, смягчение артефактов этого типа не является обязательным и может быть скомпенсировано постобработкой конкретного изображения в соответствии с целями фотографа

Foveon X3 — серия фотоматриц компании Foveon, в которой цветоделение на аддитивные цвета RGB проводится послойно, по толщине полупроводникового материала, с использованием физических свойств кремния.

Название сенсора «ХЗ» подразумевает как его «трёхслойность», так и «трёхмерность» структуры, дабы подчеркнуть отличие от «плоских» матриц с фильтром Байера.

Управляющие схемы и элементы матрицы могут быть построены с применением КМОП и других технологических решений.

Особенностью матриц Foveon является то, что фотодиоды, формирующие цветной элемент изображения, расположены друг над другом, образуя «колонку», перпендикулярную поверхности матрицы. Поскольку коэффициент поглощения света в кремнии в оптическом диапазоне монотонно зависит от длины волны, то синяя часть спектра поглощается преимущественно верхним слоем (толщина 0,4 мкм), зелёная средним (толщина 2 мкм) и красная нижним слоем (более 2 мкм), разделенных p-n-переходами и имеющими отдельные выводы сигнала. Такая компоновка позволяет получить полную информацию по трем цветовым каналам в одной точке.

В отличие от байеровских фотосенсоров в сенсорах Foveon цветные фильтры не используются и, благодаря сбору сигнала по трем цветовым каналам в одной точке, отпадает нужда в интерполяции сигналов цветных субпикселей при формировании изображения.

Достоинства

- Более чёткое изображение
- Потенциально лучшие шумовые характеристики

Недостатки

- Недостаточная точность цветопередачи и невозможность её радикального улучшения, так как в наибольшей степени она определяется свойствами кремния как такового, и произвольный выбор красителя для компонентов невозможен.
- Относительно высокий уровень цифрового шума. К сожалению, разделение оказывается далеко не полным. Часть фотонов поглощается в «чужой» области. В результате, цветовая информация оказывается неполной, насыщенность цвета при прямом использовании R G B сигналов с сенсора как значений пикселя изображения даёт малоконтрастную ненасыщенную картинку. Для компенсации этого эффекта требуется вводить агрессивный алгоритм восстановления цветового оттенка.

Типы матриц

Матрица или **светочувствительная матрица** — специализированная аналоговая или цифро-аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных элементов — фотодиодов.

- Предназначена для преобразования проецированного на неё оптического изображения в аналоговый электрический сигнал или в поток цифровых данных (при наличии АЦП непосредственно в составе матрицы).
- Является основным элементом цифровых фотоаппаратов, современных видео- и телевизионных камер, фотокамер, встроенных в мобильный телефон, камер систем видеонаблюдения и многих других устройств.
- Применяется в оптических детекторах перемещения компьютерных мышей, сканерах штрих-кодов, планшетных и проекционных сканерах, системах астро- и солнечной навигации.

ССД (ПЗС-матрица)

ССД, «Charge Coupled Device» матрица состоит из светочувствительных фотодиодов, выполнена на основе кремния, использует технологию ПЗС — приборов с зарядовой связью.

Фотон от объекта съёмки, пройдя сквозь фильтр Байера, и собирающую микролинзу, попадает на светочувствительный полупроводниковый материал. Поглощаясь, фотон порождает электро-дырочную пару, которая в ячейке под действием внешнего электрического

поля «разделяется», и электрон «отправляется» в копилку – потенциальную яму, где он будет ожидать «чтения».

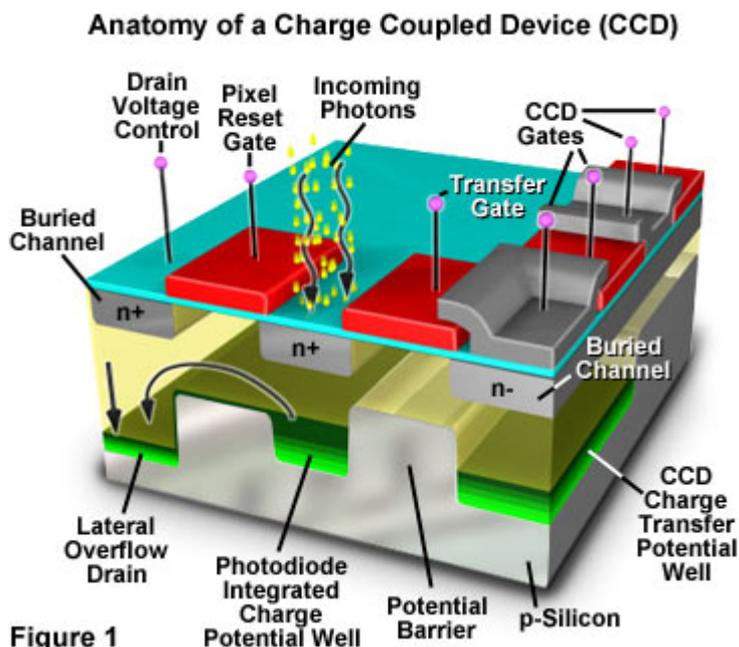


Figure 1
Рисунок 6: Устройство ячейки CCD

Чтение же в CCD матрицы происходит «поячеечно», если так можно выразиться. Пусть мы имеем массив 5 на 5 пикселей. Сначала мы считываем количество электронов, а попросту величину электрического тока, с первого пикселя. Затем специальный контроллер «сдвигает» все ячейки на одну, то есть заряд из второй ячейки перетекает в первую. Опять считывается значение и так, пока не будут прочитаны все 5 ячеек. Далее уже другой контроллер сдвигает оставшееся «изображение» на одну строчку вниз и процесс повторяется, пока не будут измерены токи во всех 25 ячейках. Может показаться, что это долгий процесс, однако для 5 миллионов пикселей он занимает считанные доли секунд.

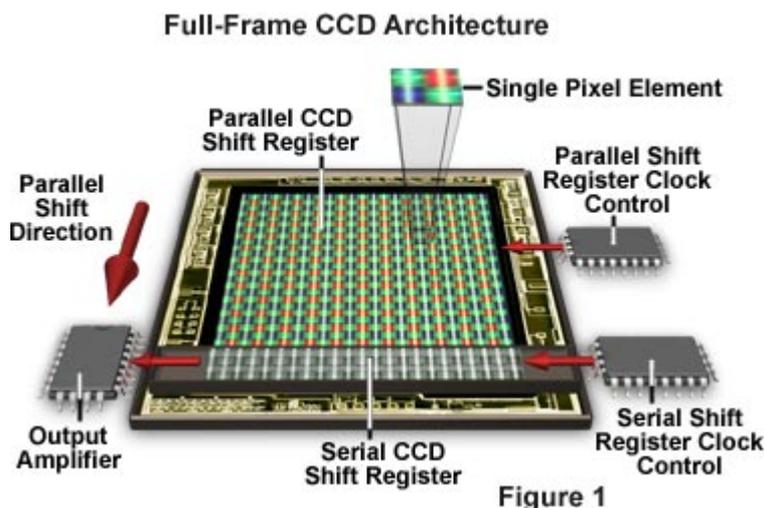


Figure 1
Рисунок 7: Чтение CCD ячеек

CMOS (КМОП-матрица)

CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) светочувствительная матрица, выполненная на основе CMOS технологии.

В таких матрицах используются полевые транзисторы с изолированным затвором с каналами разной проводимости.

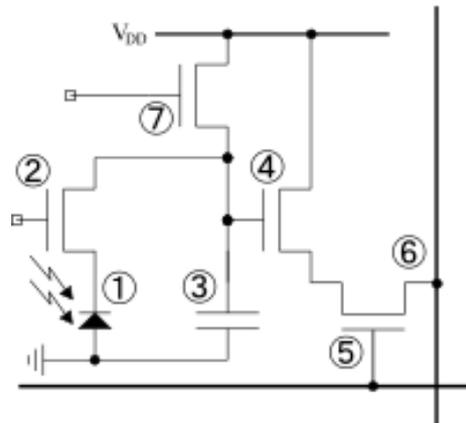


Рисунок 8: Схема ячейки CMOS матрицы. Автор : たまなるたみ

На рисунке показана эквивалентная схема такой ячейки. На схеме: 1 — светочувствительный элемент (фотодиод); 2 — затвор; 3 — конденсатор, сохраняющий заряд с диода; 4 — усилитель; 5 — шина выбора строки; 6 — вертикальная шина, передающая сигнал процессору; 7 — сигнал сброса.

При открытом затворе фотоны собираются на сенсоре, то есть происходит накопление фотонов в каждом пикселе датчика. Фотоны при помощи линзы, установленной на каждом пикселе, концентрируются в фоточувствительную область пикселя. При этом происходит фильтрация цвета при помощи сфетофильтра, то есть в одном пикселе происходит накопление красных фотонов, в другом - синих и в третьем – зеленых.

Фотон, попадая на фотодетектор фотодиода, выбивает электроны, которые накапливаются в, так называемых, потенциальных ямах, накопленные электроны создают разность потенциалов.

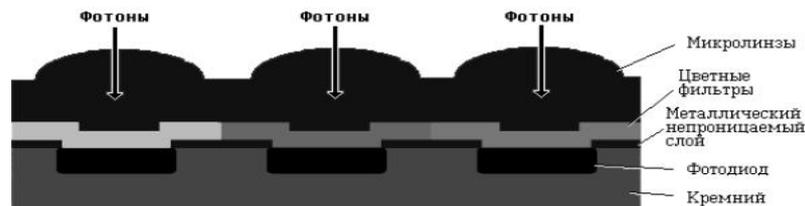


Рисунок 9: Структура микролинз и набора цветных фильтров

По синхронизирующим сигналам с генератора импульсов происходит **одновременное считывание накопленных зарядов - всех или из отдельных пикселей, указанных оператором**. Полученный сигнал слишком мал для самостоятельного использования, поэтому он проходит через усилитель. После этого происходит обработка аналогового сигнала и преобразование аналогового сигнала в цифровой.

Затем в цифровом процессоре сигналов или с помощью специального программного обеспечения происходит интерполяция и коррекция цветов. Затем полученные данные преобразуются в формат, с которым можно работать пользователю, и выводятся на экран монитора, либо записываются на электронно-магнитные носители.

Сравнение CMOS и CCD технологии

Главным недостатком CMOS технологии являются помехи, возникающие из-за добавления дополнительных элементов на чип. Это - транзисторные и диодные рассеивания, эффект остаточного заряда и многие другие. Устранением таких помех разработчики занимаются уже давно. В настоящее время создатели научились непосредственно на чипе устранять шум теневого тока из заряда перед тем, как передать его с сенсора.

Главное различие между CCD и CMOS-сенсором – это способ перевода накопленных зарядов в сигналы, которые подлежат обработке.

CCD-матрица считывает пиксели непрерывно. Сохраненные заряды из каждой строки фактически сдвигаются к следующей строке (так называемая «зарядовая связь») и по общей шине заряды выводятся последовательным потоком данных. Уровень напряжения каждого пикселя в последовательном потоке повышается усилителем, установленным на чипе перед выходом, и далее направляется к внешнему или внутреннему аналого-цифровому преобразователю (АЦП), где сигналы преобразуются в массив байтов, из которых создается изображение.

Каждый пиксель в КМОП-сенсоре имеет свою собственную усилительную схему, поэтому усиление сигнала происходит еще до считывания изображения.



Рисунок 10: Сравнение элемента CCD, MOS-пассивного пикселя и MOS-активного пикселя

Получившийся сигнал достаточно мощный, чтобы быть использованным без какого-либо дальнейшего усиления. В отличие от CCD, CMOS-сенсоры часто имеют дополнительную схему обработки изображения, включая аналого-цифровые преобразователи и процессоры сжатия прямо на чипе, делая процесс считывания и обработки изображения более быстрым и простым. Все это выражается в менее мощном чипе, увеличенной надежности, уменьшенном потреблении энергии и более компактном дизайне.

Появилась возможность произвольного доступа к каждому пикселю сенсора - подобно тому, как работает оперативное запоминающее устройство (по параллельной схеме). Такой доступ позволяет CMOS-сенсору считывать не всю матрицу целиком, а лишь некоторые области. Этот метод называется *методом оконного считывания* (window-of-interest, windowing readout).

CMOS-сенсор способен также уменьшить размер изображения. По сравнению с CCD-датчиками при этом также увеличивается скорость считывания (в ПЗС-датчиках весь заряд выходит через единственный сдвиговый регистр). Кроме того, имеется возможность встраивания в каждый пиксель аналого-цифрового преобразования и первичной обработки изображений.

Еще одно преимущество CMOS технологии состоит в том, что значительно снижается потребляемая мощность и уменьшается число составных частей, необходимых для сборки готовых изделий. Поскольку одна микросхема выполняет все функции камеры от регистрации фотонов до побитового формирования кода изображения, то устройства, основанные на технологии CMOS, отличаются повышенной надежностью.

Параметры матриц

Разрешение матрицы фотоаппарата

Матрица фотоаппарата состоит из датчиков пикселей, от количества пикселей зависит разрешение цифрового изображения, чем больше пикселей, тем выше детализация кадра, тем чётче будут видны маленькие детали. Количество пикселей на камерах обозначается словом Мегаріxel. Современные фото датчики цифровых фотоаппаратов имеют 8-24 миллионов пикселей.

Чем у фотоаппарата большая матрица, тем меньше глубина резкости на снимке?

Размера матрицы фотоаппарата влияет и на размер пикселя, площадь пикселя у большой матрицы больше, и соответственно, светочувствительность и цветопередача лучше, а шумов меньше. От этого можно сделать вывод, что важно не только количество пикселей, но и крупность. В этом каждый может убедиться если сравнит картинку снятую мыльницей с 12 megapixel и зеркальной камерой у которой например 10 megapixel.

Если в характеристиках камеры написано, что самый большой размер изображение 5616 на 3744, то получается, что разрешение матрицы фотоаппарата 22 *мегапиксель* ($5616 \times 3744 = 21026304$).

Физический размер матрицы

Физический размер матрицы — одна из важнейших характеристик фотоаппарата, который непосредственно влияет на качество изображение. Из названия уже понятно, что речь о геометрических размерах а длина и ширина сенсора измеряется в миллиметрах, в характеристиках некоторых камер размер обозначается как диагональ матрицы в дюймах как 2/3". Величина в дюймах указывается обратная величина, и поэтому при покупке камеры нужно выбрать ту, у которой число после дроби меньше.

Если вы должны выбрать из 2 камер у которых одинаковое число 12 мегапикселей, но у первой матрица 1/2.5", а у второй 1/1.8" — лучше взять вторую — размер пикселя будет больше, соответственно, и качество снимков лучше.

Здесь вы можете увидеть таблицу, где приведены соотношение диагонали к геометрическому размеру.

Таблица 2. Соотношение диагонали и размеров

Диагональ	Геометрический размер
1/3.2"	3.4x4.5мм
1/2.7"	4.0x5.4мм
1/2.5"	4.3x5.8мм
1/2.3"	4.6x6.2мм
1/1.8"	5.3x7.2мм
2/3"	6.6x8.8мм
1"	9.6x12.8мм
APS-C	15x23мм
полный формат	24x36мм

Размер влияет на количество **цифрового шума**, передаваемого вместе с основным сигналом на матрицу. Чем больше физический размер матрицы, тем больше ее площадь и тем больше света на нее попадает, в результате чего полезный сигнал матрицы будет сильнее и соотношение сигнал / шум будет лучше. Это позволяет получать качественную картинку с естественными цветами.

В последние годы для указания размера сенсора используют ещё и коэффициент **кроп-фактор (crop factor)**, который показывает во сколько раз сенсор фотоаппарата меньше полного кадра (*full frame*).

Так называемая полная матрица (Full Frame) имеет размер, приблизительно равный размеру кадра 35-миллиметровой пленки, на которую производилась съемка в пленочных аппаратах.

Полная матрица дорога в производстве (там высок процент брака), фотоаппараты с ней, как правило, имеют немаленькие размеры, солидный вес и в любом случае стоят дорого, в результате чего камеры с полной матрицей используют в основном только профессионалы. Ну или продвинутые любители с хорошими заработками, для которых термин Full Frame является сакральным.

Чтобы уменьшить стоимость, размер и вес камер, производители додумались делать матрицу меньших размеров - обрезать ее. Английское слово *crop* и означает - "обрезать". Кроп-фактор - число, показывающее, во сколько раз данную матрицу обрезают по отношению к полной матрице (Full Frame).

Кроп-фактор 1,5 или 1,6 (самый популярный вариант в любительских зеркалках) означает, что матрица тут уменьшена в 1,5 или 1,6 раза по сравнению с полноформатной.

Какую все-таки матрицу предпочесть? Нужно ли сразу стремиться к Full Frame, чтобы на нее ежедневно молиться?

С одной стороны, чем больше сенсор, тем лучше качество получаемой фотографии. Конечно, тут играют и многие другие факторы, прежде всего объектив, но просто чисто физически: чем больше матрица, тем лучше качество.

Кроме того, чем больше исходное изображение, тем проще его кадрировать: то есть вырезать из него кусок кадра и при этом получать приемлемое качество.

Также чем больше матрица, тем лучше камера снимает в плохих условиях освещения: у большой матрицы при высоких значениях светочувствительности значительно меньше проявляется так называемый "шум" (это точки на изображении - как зерно на старых черно-белых фотографиях, снятых на высокочувствительную пленку).

С другой стороны, полный формат, как мы уже говорили, ведет к повышению размеров камеры, увеличению веса и всегда - к высокой цене. И если вы - фотолюбитель, то зачем вам тратить большие деньги и таскать с собой тяжеленную камеру, если вы не очень представляете, что вам это вообще дает?

В результате камеру (и сенсор) нужно подбирать под свои задачи и свой кошелек. Для начинающих вполне подойдет недорогая "мыльница" с кропом 5,7. Продвинутым любителям, которые уже что-то понимают в фотографии и знают, какие возможности им предоставляют те или иные камеры, лучше ориентироваться или на хорошие беззеркалки с кропом 2 - 1,5, или на любительские зеркальные камеры с кропом 1,5 - 1,6, тем более что такие зеркалки сейчас выпускаются.



Рисунок 11: Физические размеры фотоматриц

Светочувствительность матрицы фотоаппарата

Светочувствительность – это свойство светочувствительного материала, то есть пленки или матрицы. Светочувствительность указатель того, как быстро материал «впитывает» свет. По мировым стандартам светочувствительность обозначается **ISO**.

При съёмке плёночным фотоаппаратом для повышения светочувствительность, используют фотоплёнки с разными **ISO**, а в цифровом фотоаппарате повышения ISO делается с помощью кнопок или меню. Шкала в основном имеет такой — *100,200,400,800,1600,3200,6400,12800*. Чем больше значение ISO, тем больше светочувствительность материала.

Чем выше **ISO**, тем меньше требуется света для съёмки и способность камеры снимать в условиях с низкой освещённостью повышается. Показатель чувствительности матрицы указывает на то, насколько сильно усиливается сигнал, поступающий от нее. А это значит, что чем выше значение **ISO**, тем сильнее будет усиливаться сигнал, но вместе с ним будут усиливаться и шумы. Из этого следует, что увлекаться большими значениями не стоит, потому что в этом случае повышается уровень шума, картинка получается очень зернистым, и даже бесполезным.

Высокие значения приходят на помощь в основном ночью или вечером, в тёмных помещениях, в клубах, даже в домашних условиях и при съёмке быстро движущихся объектов, когда нужно снимать с высокой выдержкой.

Источники

https://ru.wikipedia.org/wiki/Фильтр_Байера

https://ru.wikipedia.org/wiki/Массив_цветных_фильтров

https://ru.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3

Овчинников А.М., Ильин А.А., Овчинников М.Ю Принцип работы и устройство активно-пиксельных датчиков - http://www.keldysh.ru/papers/2003/rep85/rep2003_85.html

<http://dslrclub.ru/chto-takoe-matrica-fotoaparata/>

<https://www.exler.ru/likbez/16-07-2014.htm>