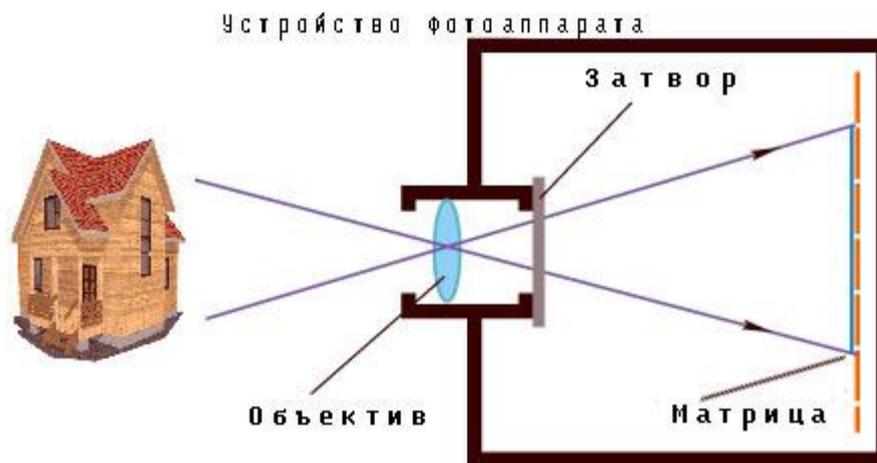


## АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕОСИГНАЛОВ

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

Предназначена для преобразования спроецированного на неё оптического изображения в аналоговый электрический сигнал или в поток цифровых данных (при наличии АЦП непосредственно в составе матрицы).

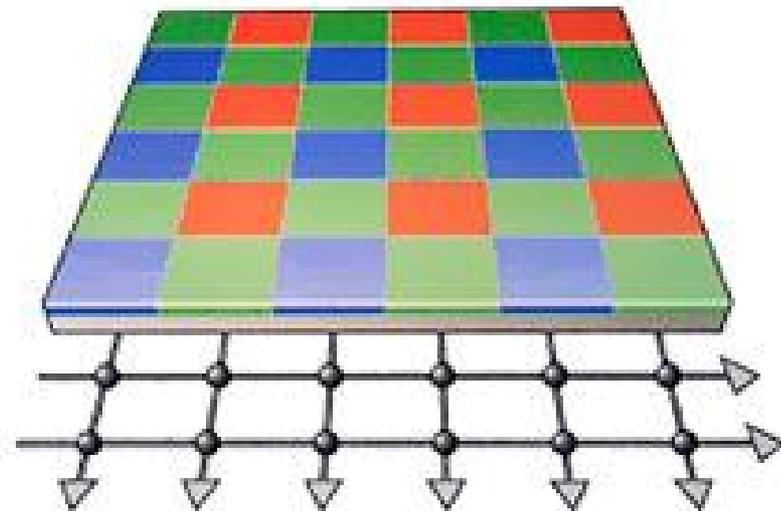
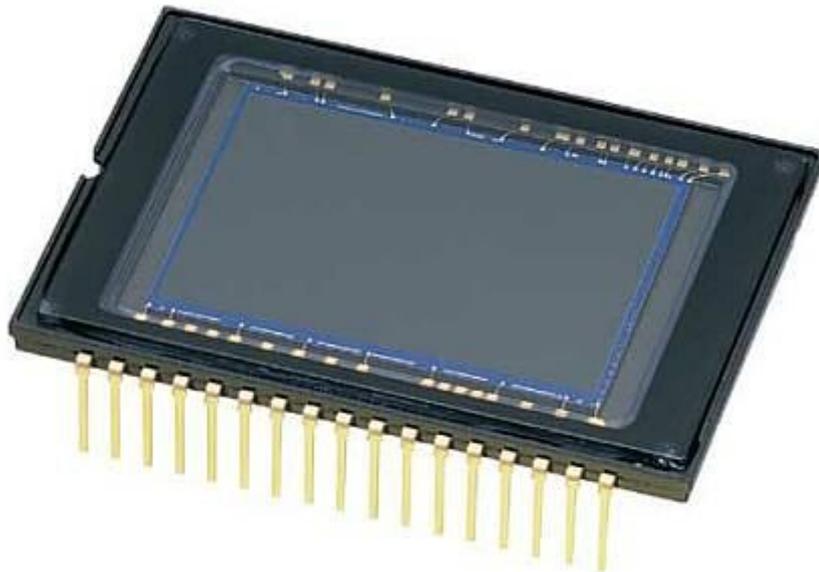


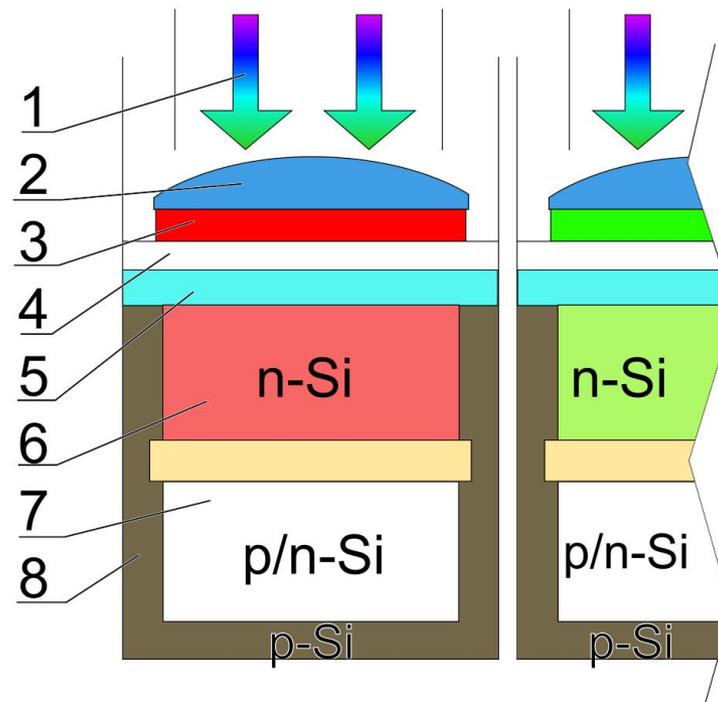
Матрица является основным элементом цифровых фотоаппаратов, современных видео- и телевизионных камер, фотокамер, встроенных в мобильный телефон, камер систем видеонаблюдения и многих других устройств.

## ТИПЫ СЕНСОРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### ПЗС (CCD)

Сенсоры типа ПЗС (прибор с зарядовой связью) встречаются в большинстве цифровых камер. Информация в таких сенсорах передаётся с помощью последовательного перехода заряда от одного фотосайта (ячейки) к другому. Для корректной работы подобного сенсора должен использоваться внешний электронный таймер. Сенсоры ПЗС дают великолепное качество, однако производить их очень дорого.





Обозначения на схеме субпикселя ПЗС-матрицы — матрицы с карманом n-типа:

1 — фотоны света, прошедшие через объектив фотоаппарата;

2 — микролинза субпикселя;

3 — R — красный светофильтр субпикселя, фрагмент фильтра Байера;

4 — прозрачный электрод из поликристаллического кремния или сплава индия и оксида олова;

5 — оксид кремния;

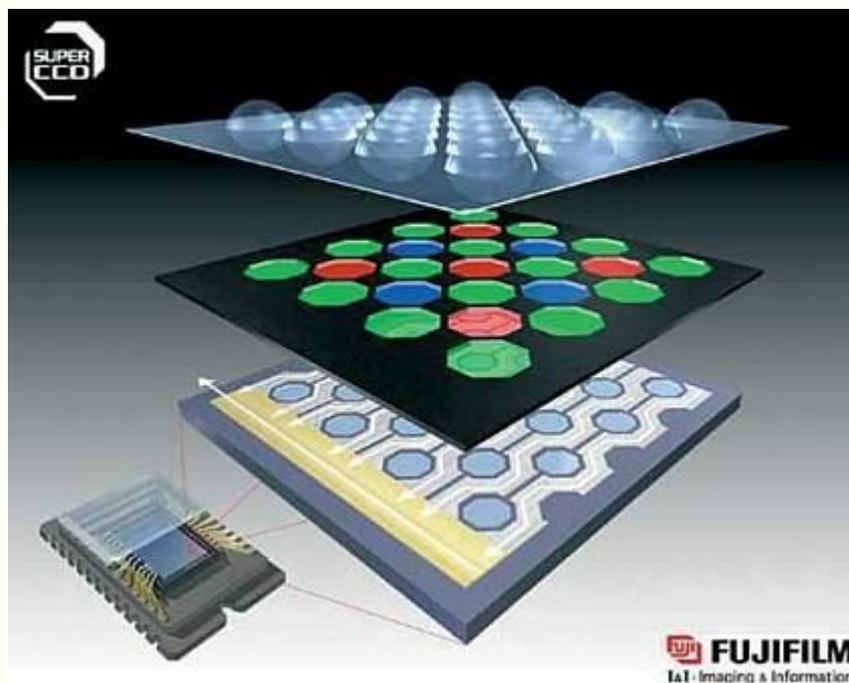
6 — кремниевый канал n-типа: зона генерации носителей — зона внутреннего фотоэффекта;

7 — зона потенциальной ямы (карман n-типа), где собираются электроны из зоны генерации носителей заряда;

8 — кремниевая подложка p-типа.

## Super CCD

Весной 2000 года компания Fujifilm анонсировала первую цифровую камеру с сенсором Super CCD. В реальности Fuji просто осуществила следующее: структура сенсора была изменена, и информация трактовалась таким образом, что изображение подвергалось "инфляции". В сенсоре Fuji интересна именно структура. На классическом ПЗС-сенсоре фотосайты состоят из крошечных квадратиков, расположенных рядом друг с другом, как на шахматной доске. На сенсоре Super CCD форма фотосайтов изменилась - они стали уже не квадратными, а шестиугольными, и их расположение напоминает соты. Данный сенсор даёт хорошие результаты по вертикальному и горизонтальному разрешениям, к которым привык человеческий глаз.



## **КМОП (CMOS)**

Сенсоры КМОП (комплементарный металло-оксидный полупроводник) работают по-иному, хотя базовый принцип не изменился. Фотосайты, как и на ПЗС-сенсоре, чувствительны к свету и получают определённый электрический заряд в зависимости от количества полученного света. Здесь отличий нет. Однако внутри каждого фотосайта заряд, образующийся при попадании света, преобразуется напрямую в ток. Более того, сенсоры КМОП производить дешевле, чем ПЗС. В начале цифровой эры КМОП-сенсоры использовались в цифровых камерах первых поколений или даже web-камерах. Однако сегодня, когда в этом направлении были проведены масштабные исследования, существуют большое количество камер, легко обходящих конкурентов с ПЗС-сенсорами.

## **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 «X3» 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. Однако на данный момент (2008 год) производится только КМОП версия.

## **Количество пикселей, размещенных на сенсоре**

Составляло от нескольких килопикселей для первых сенсоров и доходит до сотен мегапикселей. Наиболее актуальные на данный момент цифры – от единиц до двух десятков мегапикселей.

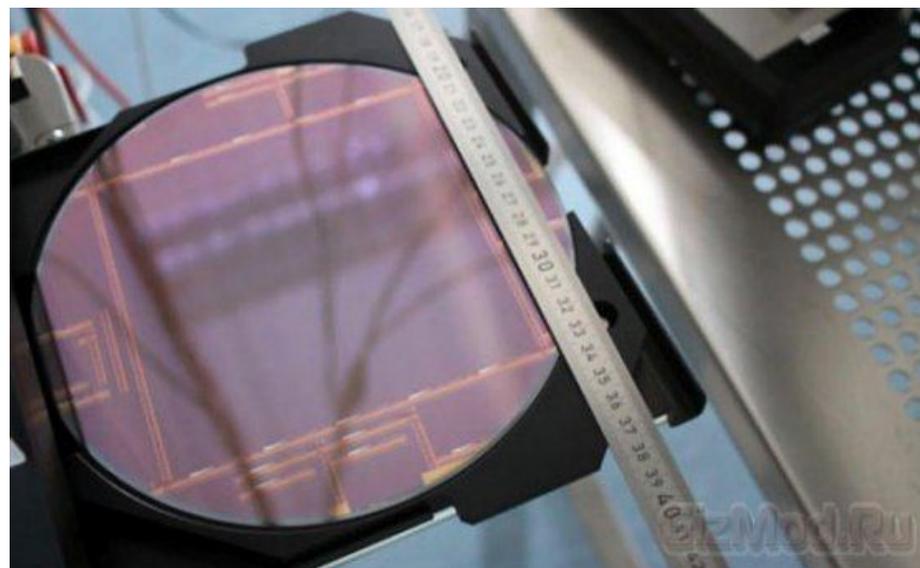
## **Влияет ли число пикселей на качество сенсора?**

Чем больше число пикселей, тем больший формат изображения можно получить без появления эффекта пикселизации. На самом деле, существует и другой важный параметр - размер сенсора. Если сенсор крошечный, как бывает в компактных камерах, качество будет не таким хорошим, как картинка камеры с большим сенсором. Чем больше площадь освещённой поверхности, тем больше деталей изображения можно получить. Увеличение числа пикселей позволяет получать более детальное изображение, однако пикселы становятся всё меньше и меньше, поэтому и их светочувствительность тоже снижается. Сигнал, полученный светочувствительным элементом, усиливается. По мере уменьшения светочувствительности пикселей это усиление начинает играть всё большую роль. Но чем больше усиление, тем больше "шума" появляется в тёмных областях. Поэтому нужно понимать, что сенсор с большим числом пикселей необязательно даёт изображение лучшего качества, чем сенсор того же размера, но с меньшим числом пикселей.

## Размер сенсора

Ниже в качестве примера приведены размеры самых распространённых сенсоров: 1/2.5, 1/1.8, 2/3, APS-C, FullFrame. Также существуют сенсоры меньших и больших размеров.





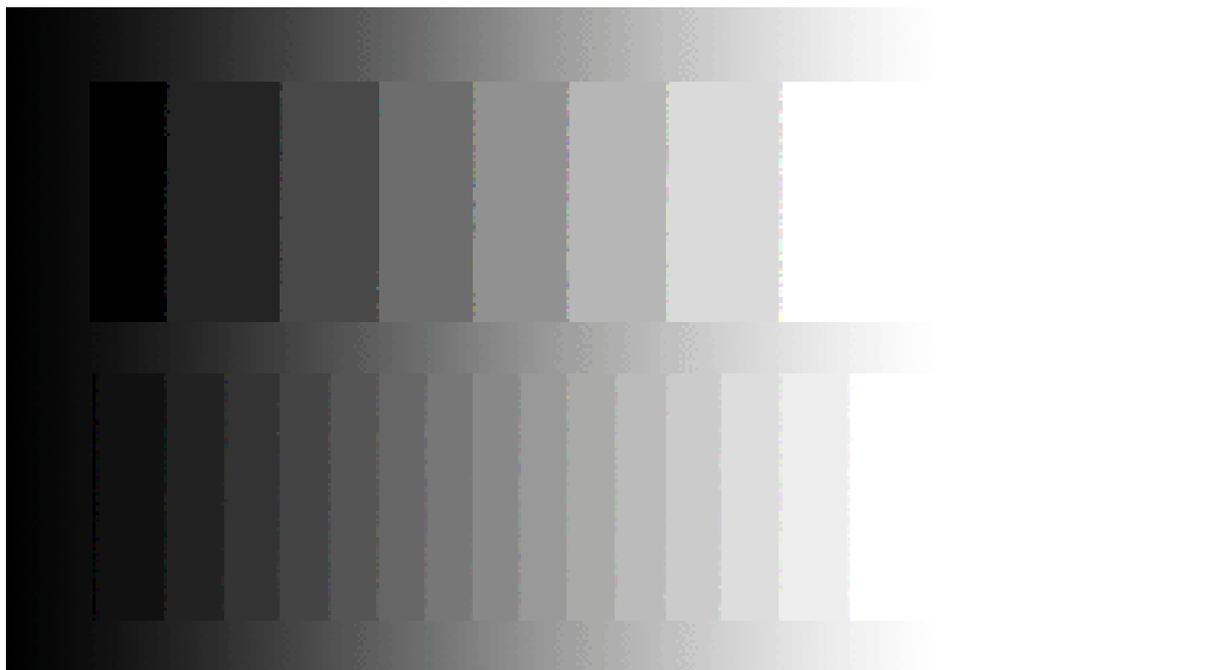
Существуют также специальные **сенсоры для сканеров**. Они являются однорядными (узкая длинная полоска в ширину формата сканирования) и в каждый момент времени формируют только одну строку изображения. При перемещении сенсора относительно сканируемого оригинала процесс фиксации строки изображения повторяется многократно, и в итоге формируется изображение обычного типа. Достоинства таких систем: простота, дешевизна, высокое разрешение и качество изображения. Недостатки: существенное время сканирования, контактный способ, обработка только плоских и неподвижных оригиналов.

**Чувствительность сенсора** – способность преобразовывать в сигнал свет минимальной интенсивности.

К матрицам применяется термин эквивалентная «чувствительность», потому что: в зависимости от назначения матрицы формальное значение чувствительности может определяться различными способами по различным критериям; аналоговым усилением сигнала и цифровой постобработкой можно менять значение чувствительности матрицы в широком диапазоне; у цифровых фотоаппаратов значение эквивалентной чувствительности может меняться в диапазоне ISO 50-102400.

**Динамический диапазон** — способность матрицы передавать широкий интервал яркостей.

**величина экспозиции, полученной фотоматериалом**



## Отношение сигнал/шум

Всякая физическая величина совершает некоторые колебания от своего среднего состояния, в науке это называется флуктуациями. Поэтому и каждое свойство всякого тела тоже изменяется, колеблясь в некоторых пределах. Это справедливо и для такого свойства, как светочувствительность фотоприемника, независимо от того, что собой представляет этот фотоприемник. Следствием этого является то, что некоторая величина не может иметь какого-то конкретного значения, а изменяется в зависимости от обстоятельств. Если, например, рассмотреть такой параметр фотоприемника, как «уровень чёрного», то есть то значение сигнала, которое будет показывать фотодатчик при отсутствии света, то и этот параметр будет некоторым образом флуктуировать, в том числе эта величина будет меняться от одного фотодатчика к другому, если они образуют некоторый массив (матрицу).

В качестве примера можно рассмотреть обычную фотопленку, где фотодатчики — зерна бромистого серебра, и их размер и «качество» неконтролируемо меняются от точки к точке (изготовитель фотоматериала может обеспечить только среднее значение параметра и величину его отклонения от среднего значения, но не сами конкретные значения этой величины в конкретных позициях). В силу этого обстоятельства пленка, проявленная без экспозиции, покажет некоторое, очень маленькое, но отличное от нуля почернение, которое называется «вуаль». И у фотоматрицы цифрового фотоаппарата наблюдается то же самое явление. В науке такое явление называется шумом, так как оно мешает правильному восприятию и отображению информации, и для того, чтобы изображение хорошо передавало структуру исходного сигнала, необходимо, чтобы уровень сигнала в некоторой степени превосходил уровень шумов, характерных для данного устройства. Это называется отношением сигнал/шум.

## **Дефектные пикселы**

Любой сенсор в силу несовершенства технологических процессов производства содержит дефектные пикселы, работающие за рамками принятых допусков и отличающиеся от нормальных пикселов. Их делят на две группы – горячие и мертвые пикселы.

Горячие характеризуются повышенным уровнем шума и неудовлетворительной по точности фиксацией яркости и цвета, однако результирующий сигнал на нем зависит от падающего света. Проявляются, как и шумы, тем сильнее, чем выше усиление сигнала с сенсора, однако заметно выделяются на уровне общего шума. Причины – случайные факторы производственного процесса либо старение.

Мертвые пикселы имеют определенный постоянный цвет, чаще всего белый, черный или один из основных, сигнал на них постоянный и не зависит от падающего света. Причина – физическое повреждение ячейки на этапах производства либо эксплуатации (брак, лазер, старение).

Особенно неприятны группы дефектных пикселов. При производстве сенсоров существуют допуски на максимально приемлемое количество горячих и мертвых пикселов. Групповые дефекты, как правило, расцениваются как явный брак.

Способы борьбы – ремаппинг, минимальное усиление сигнала.

## ДЕФЕКТЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ СЕНСОРОМ

### Размытие (Blooming)

Появляется, когда изображение имеет сильную локальную контрастность. Что такое локальная контрастность? Эта область, где светлый объект находится по соседству с тёмной областью. Фотосайты на границе "переходят" на соседнюю область, что даёт неправильную яркость и распределение, в результате чего появляется эффект размытия соседних фотосайтов.

Для решения этой проблемы производители выработали различные аппаратные и программные решения. К примеру, **Foveon** решила наложить друг на друга три КМОП-сенсора, каждый из которых чувствителен к своему цвету. Это решение позволило нейтрализовать эффект размытия, хотя привело к появлению некоторых проблем в других областях.

Другие компании предпочли программные решения. Данные, посылаемые сенсором на схему, обрабатываются таким образом, чтобы свести к минимуму эффект размытия.

## Шум (Noise)

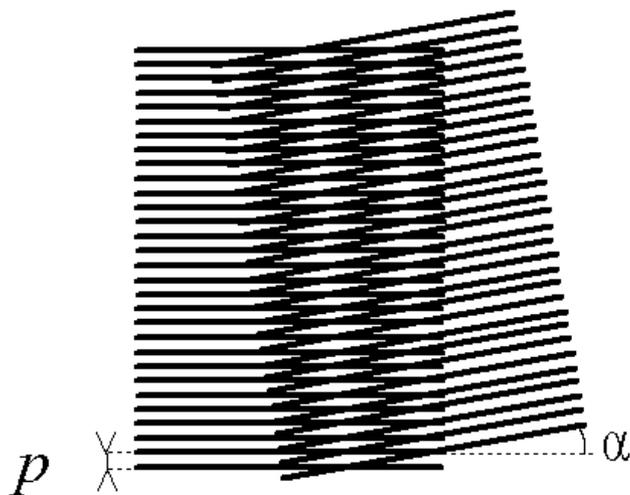
Слово "шум" обычно связывают не с изображениями, а со звуком, однако с появлением цифровых камер оно стало ассоциироваться и с этой областью. Под "шумом" в первую очередь понимают пиксели светлых оттенков, наблюдаемые в тёмных областях, хотя там их не должно быть. Результат напоминает мелкие частицы пыли. Как было сказано выше, эти дефекты являются следствием неоднородности физической структуры сенсора вследствие несовершенства технологий производства, а также последующего усиления сигнала с сенсора. Чем меньше светочувствительность сенсора, тем сильнее необходимо усиливать сигнал, и тем больше будет "шум". Поэтому производителям приходится оснащать свои модели различными программными или аппаратными решениями, снижающими эффект шума после усиления.

Шум содержит две основные компоненты: цветовую и яркостную. Уровень первой для традиционных изображений снижается программными средствами относительно легко. Борьба же с яркостной составляющей неизбежно ведет к размытию и снижению четкости и детализации изображения.

Для большинства типов сенсоров шум может иметь полосовую структуру, т.к. считывание информации производится по строкам.

## Муар (Moire)

**Муáровый узор (муáр**, от фр. *moire*) — узор, возникающий при наложении двух периодических сетчатых рисунков. Явление обусловлено тем, что повторяющиеся элементы двух рисунков следуют с немного разной частотой и то накладываются друг на друга, то образуют промежутки.



Муаровый узор наблюдается при наложении друг на друга различных частей тюлевых занавесок. Понятие «муар» происходит от ткани муар, при отделке которой использовалось данное явление.



## **Возникновение муара в процессе получения цифрового изображения**

Муаровый узор возникает при цифровом фотографировании и сканировании сетчатых и других периодических изображений, если их период близок к расстоянию между светочувствительными элементами оборудования. Чаще всего в повседневной жизни муар проявляется при сканировании изображений, напечатанных полиграфическим способом. Это происходит из-за того, что сканер повторно растрирует изображение, на котором уже есть оригинальный растр. На видеоизображении растр еще более заметен, т.к. при малейшем движении его рисунок резко меняется.

Методы борьбы: применение размывающего фильтра (Anti-aliasing filter) или программная обработка, также с размытием.

Муар используется в одном из механизмов защиты денежных знаков от подделки: на купюры наносится волнообразный рисунок, который при сканировании может покрыться очень заметным узором, отличающим подделку от оригинала.

## **Сенсоры: чему отдать предпочтение?**

По итогам нашего обсуждения можно сказать, что КМОП-сенсор Canon эквивалентен по качеству ПЗС-сенсору. Технология Fuji Super CCD является интересной альтернативой, вполне отработана, но имеет свои недостатки. Foveon используется реже.

Что касается размера сенсора, то он приближается к пределам. Преимущество же от увеличения числа пикселей сегодня уже не так очевидно, особенно если учесть высокую цену и немалый уровень "шума".

## ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**Объектив** — оптическое устройство, предназначенное для создания действительного оптического изображения. В оптике рассматривается как равнозначное собирающей линзе, хотя может иметь иной вид, например см. «Камера-обскура». Обычно объектив состоит из набора линз (в некоторых объективах — из зеркал), рассчитанных для взаимной компенсации аберраций и собранных в единую систему внутри оправы.

**Основные** характеристики объективов:

- Фокусное расстояние (и возможность его изменения);
- Угол поля зрения объектива;
- Светосила;
- Максимальное относительное отверстие (иногда неправильно называемое светосилой);
- Уровень и характер оптических искажений (аббераций);
- Разрешающая способность;
- Тип байонета или диаметр резьбы для крепления к камере — для сменных фотографических или киносъёмочных объективов.

**По диапазону значений фокусного расстояния**

- **Фикс** — любой объектив с фиксированным фокусным расстоянием, жаргонное слово, сокращение, используемое для противопоставления **вариообъективам**. В кинематографическом обиходе такие объективы называются **дискретными**.
- **Вариообъектив** — объектив с переменным фокусным расстоянием (трансфокатор, «зум»).

## По углу поля зрения

Широко применяется классификация фотографических объективов по углу поля зрения или по фокусному расстоянию, отнесённому к размерам кадра. Эта характеристика во многом определяет сферу применения объектива:

- **Нормальный объектив** — объектив, у которого фокусное расстояние примерно равно диагонали кадра. Для 35-мм плёнки нормальным считается объектив с фокусным расстоянием 50 мм, хотя диагональ такого кадра равна 43 мм. Угол поля зрения нормального объектива от  $40^\circ$  до  $51^\circ$  включительно (часто около  $45^\circ$ ). Считается, что восприятие перспективы снимка, сделанного таким объективом, наиболее близко к восприятию перспективы окружающего мира человеком.
- **Широкоугольный объектив** (син. короткофокусный объектив) — объектив, с углом поля зрения от  $52^\circ$  до  $82^\circ$  включительно, фокусное расстояние которого меньше широкой стороны кадра. Часто используется для съёмки в ограниченном пространстве, например интерьеров.
- **Сверхширокоугольный объектив** — объектив, у которого угол поля зрения  $83^\circ$  и более, а фокусное расстояние меньше малой стороны кадра. Сверхширокоугольные объективы обладают преувеличенной передачей перспективы и часто используются для придания изображению дополнительной выразительности.
- **Длиннофокусный объектив** (часто и некорректно именуемый телеобъективом) — объектив, у которого фокусное расстояние значительно превышает диагональ кадра. Имеет угол поля зрения от  $10^\circ$  до  $39^\circ$  включительно, и предназначен для съёмки удаленных предметов.
- **Сверхдлиннофокусный объектив** — объектив, угол поля зрения которого  $9^\circ$  и менее.
- В настоящее время массовое применение получил современный тип объективов с **переменным фокусным расстоянием**, называемый вариообъектив (трансфокатор, «зум» (англ. Zoom)).

**Специальные типы объективов: тилт-шифт, пинхол и пр.**

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ – ОПТИЧЕСКАЯ, С ПОДВИЖНОЙ МАТРИЦЕЙ, ПРОГРАММНАЯ**

**Стабилизация изображения** — это технология, применяемая в фото- и видеосъёмочной технике, механически компенсирующая собственные угловые движения камеры для предотвращения смазывания изображения при больших выдержках.

Система стабилизации не рассчитана на компенсацию движения объекта съёмки и, по сути дела, служит заменой штативу в некотором диапазоне условий съёмки.

В камеру встроены специальные сенсоры, работающие по принципу гироскопов или акселерометров. Эти сенсоры постоянно определяют углы поворота и скорости перемещения камеры в пространстве и выдают команды электрическим приводам, которые отклоняют стабилизирующий элемент объектива или матрицу. При программной стабилизации изображения углы и скорости перемещения фотоаппарата пересчитываются процессором, который устраняет сдвиг.

**Оптическая стабилизация OIS** (англ. Optical Image Stabilizer — оптический стабилизатор изображения). Стабилизирующий элемент объектива, подвижный по вертикальной и горизонтальной осям, по команде с сенсоров отклоняется электрическим приводом системы стабилизации так, чтобы проекция изображения на плёнке (или матрице) полностью компенсировала колебания фотоаппарата за время экспозиции. В результате при малых амплитудах колебаний фотоаппарата проекция всегда остаётся неподвижной относительно матрицы, что и обеспечивает картинке необходимую чёткость. Однако наличие дополнительного оптического элемента немного снижает светосилу объектива.

**Стабилизатор изображения с подвижной матрицей** (англ. Anti-Shake — антитряска). В этой системе движение камеры компенсирует не оптический элемент внутри объектива, а ее матрица, закреплённая на подвижной платформе.

Объективы становятся дешевле, проще и надёжнее, стабилизация изображения работает с любой оптикой. Стабилизация со сдвигом матрицы, в отличие от оптической, не вносит искажений в картинку (быть может кроме вызванных неравномерной резкостью объектива) и не влияет на светосилу объектива. В то же время считается, что стабилизация сдвигом матрицы менее эффективна, нежели оптическая стабилизация – матрица массивнее небольшой линзы.

**Программная стабилизация изображения** — технология обработки изображения в видеосъёмочной аппаратуре, позволяющая (помимо компенсации движения камеры) полностью или частично компенсировать движение одного из объектов в кадре и улучшить качество изображения благодаря меньшей смазанности важных деталей.

EIS (англ. Electronic (Digital) Image Stabilizer — электронная (цифровая) стабилизация изображения. При этом виде стабилизации примерно 40 % пикселей на матрице отводится на стабилизацию изображения и не участвует в формировании картинки. При дрожании видеокамеры картинка «плавает» по матрице, а процессор фиксирует эти колебания и вносит коррекцию, используя резервные пиксели для компенсации дрожания картинки. Эта система стабилизации широко применяется в цифровых видеокамерах, где матрицы маленькие (0,8Мп, 1,3Мп и др.). Имеет более низкое качество, чем прочие типы стабилизации, зато принципиально дешевле, так как не содержит дополнительных механических элементов.

**Стабилизатор изображения** — общее наименование всех частей камеры, осуществляющих стабилизацию изображения.

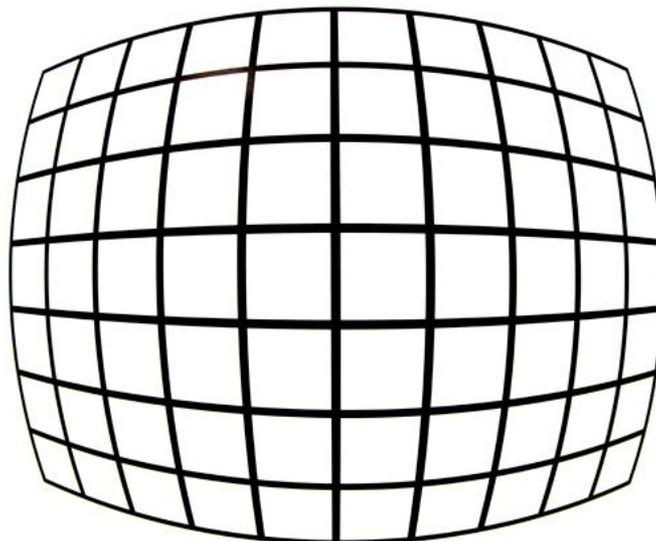
## ИСКАЖЕНИЯ, ВНОСИМЫЕ ОПТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

**Аберрация оптической системы** — ошибка или погрешность изображения в оптической системе, вызываемая отклонением луча от того направления, по которому он должен был бы идти в идеальной оптической системе. Аберрацию характеризуют различного вида нарушения гомоцентричности<sup>[1]</sup> в структуре пучков лучей, выходящих из оптической системы.

Аберрации можно разделить на монохроматические, то есть присущие монохромным пучкам лучей, и хроматические.

**Виньетирование** – затемнение изображения по краям

**Дисторсия** – геометрические искажения изображения. Бывает бочкообразной или подушкообразной



Пример бочкообразной дисторсии

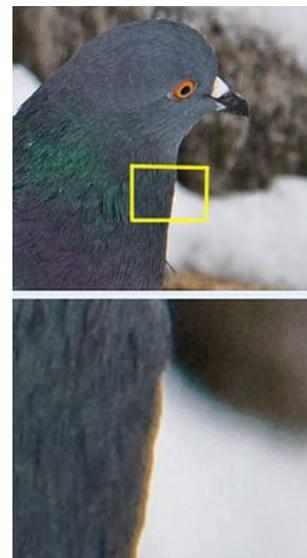
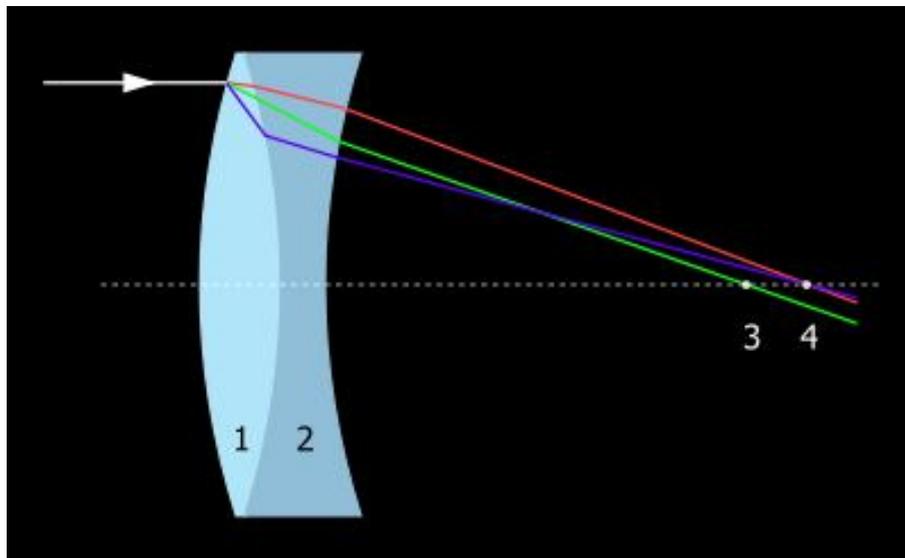
**Неравномерность разрешения по полю кадра.** Обычно разрешение падает к краям кадра.

**Монохроматические aberrации** - такие погрешности изображений присущи всякой реальной оптической системе, и принципиально неустранимы. Их возникновение объясняется тем, что преломляющие поверхности неспособны собрать в точку сколько-нибудь широкие пучки лучей, падающие на них под большими углами.

Эти aberrации приводят к тому, что изображением точки является некоторая размытая фигура (фигура рассеяния), а не точка, что, в свою очередь, отрицательно влияет на чёткость изображения и нарушает подобие изображения и предмета.

**Хроматическая aberrация** – паразитная дисперсия света, проходящего через оптическую систему (фотографический объектив, бинокль, микроскоп, телескоп и т. д.). При этом белый свет разлагается на составляющие его цветные лучи, в результате чего изображения предмета в разных цветах не совпадают в пространстве изображений.

Хроматическая aberrация ведёт к снижению чёткости изображения, а иногда также и к появлению на нём цветных контуров, полос, пятен, которые у предмета отсутствуют.



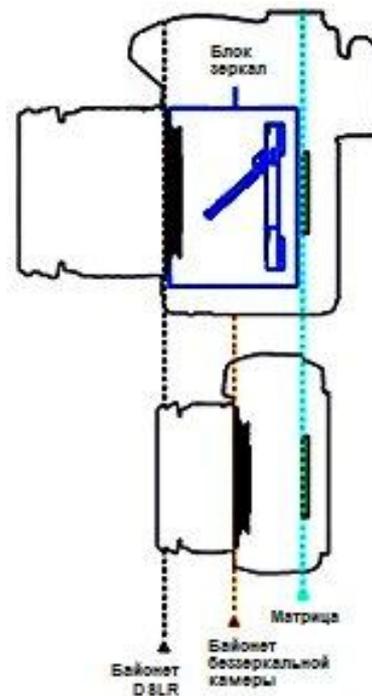
## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ФИКСАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

### Пинхол-камера

**Беззеркальная цифровая камера со сменными объективами** — системная цифровая камера, основанная на электронном видоискателе высокого разрешения, обеспечивающем сквозное визирование с объективами любых фокусных расстояний. Оптический видоискатель на большинстве таких камер отсутствует. Беззеркальные цифровые камеры обладают размерами компактных камер, но, в отличие от них, позволяют использовать сменную оптику и оснащаются матрицами гораздо больших размеров.

### Компактная цифровая камера

### Зеркальная цифровая камера



## КАМЕРЫ «СВЕТОВОГО ПОЛЯ»

Lytro представила первые камеры «светового поля», которые позволяют менять фокусировку на готовых снимках. Разработчик идеи камер «светового поля» компания Lytro в начале 2012 года выпустила на рынок первые такие камеры.



Корпус устройства представляет собой «брусочек» размерами 41 x 41 x 112 мм. Масса камеры — 214 г. Лаконичный дизайн включает две кнопки (питание и спуск затвора), ползунок для изменения фокусного расстояния и сенсорный экран для визирования кадров, который находится на противоположной стороне «бруска» от объектива.

Объектив характеризуется восьмикратным коэффициентом трансфокации при постоянной максимальной диафрагме F/2. Заслуживают внимания система линз и сенсор, благодаря которым и становится возможным получение таких фотографий.

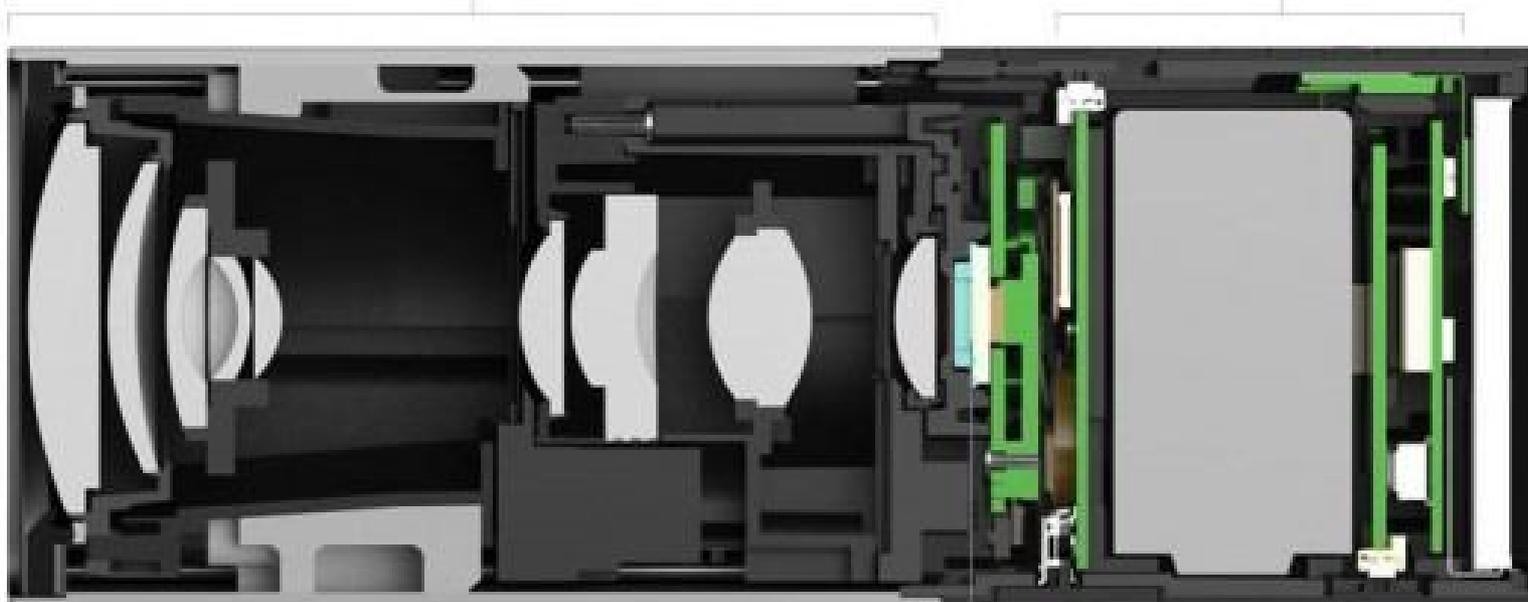
#### Lens

The Lytro Light Field Camera starts with an 8X optical zoom, f/2 aperture lens. The aperture is constant across the zoom range allowing for unheard of light capture.

#### Light Field Engine 1.0

The Light Field Engine replaces the supercomputer from the lab and processes the light ray data captured by the sensor.

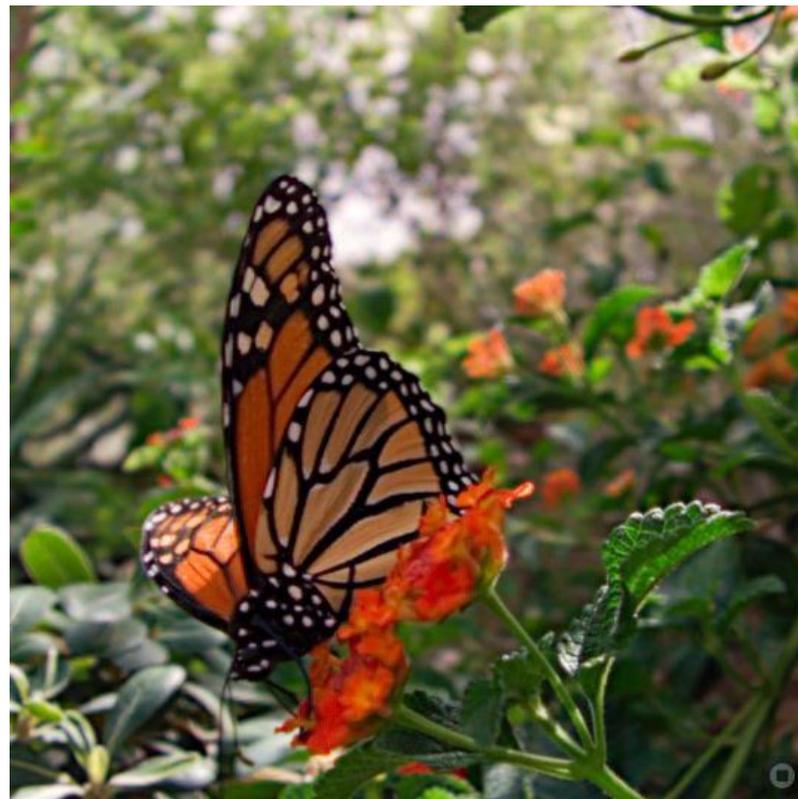
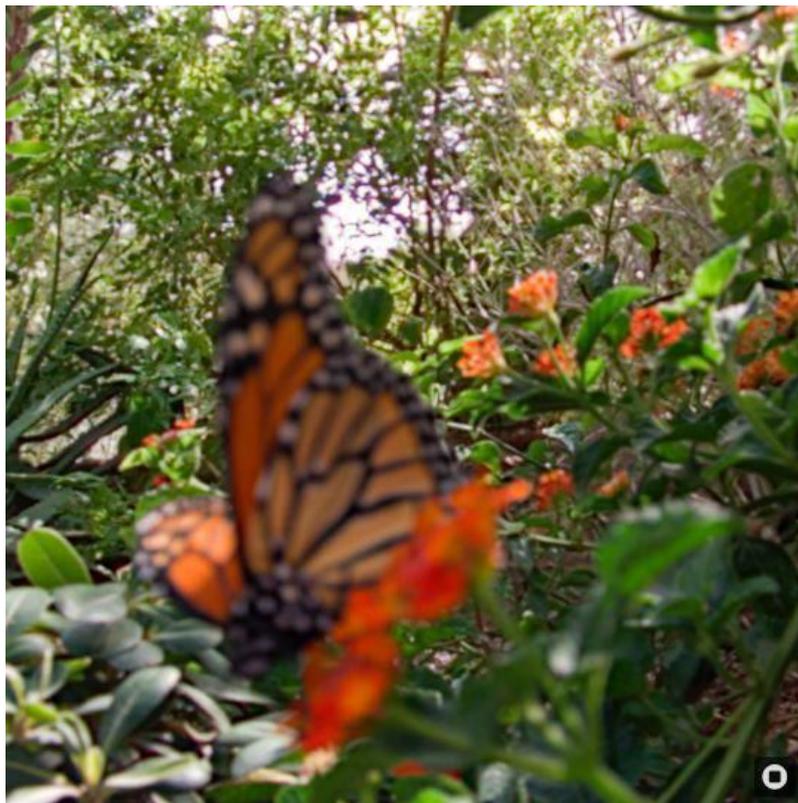
The Light Field Engine travels with every living picture as it is shared, letting you refocus pictures right on the camera, on your desktop and online.



#### Light Field Sensor

From a roomful of cameras to a micro-lens array specially adhered to a standard sensor, the Lytro's Light Field Sensor captures 11 million light rays.

Безусловно, самая необычная особенность камеры — это получаемые с ее помощью снимки «светового поля». Точку фокусировки на них можно выбирать после съемки, при просмотре на ПК. Разрешение камеры указано в неких «мегалучах» и равно 11. Реальное же «традиционное» разрешение составляет порядка 1 Мп. Ниже на фото показано, в каких пределах может меняться глубина резкости.



Файлы снимков можно просматривать без установки специального ПО. Впрочем, лучше один раз увидеть: <https://www.lytro.com/>

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ, АКТУАЛЬНЫЕ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ФИКСАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕО

- разрешение
- диафрагма
- выдержка
- кол-во кадров/с
- прогрессивная/чересстрочная развертка
- размер/поток
- формат/кодек