**Цифровой шум** – это дефект фотографии, вносимый фото сенсором цифрового фотоаппарата. Цифровой шум проявляется в виде хаотично расположенных точек различных по яркости и цвету. Особенно он заметен на однотонных поверхностях – небо, кожа, участки теней. Цифровой шум придает фотографии неестественный вид – изображение будто присыпано песком.

### Цифровой шум.

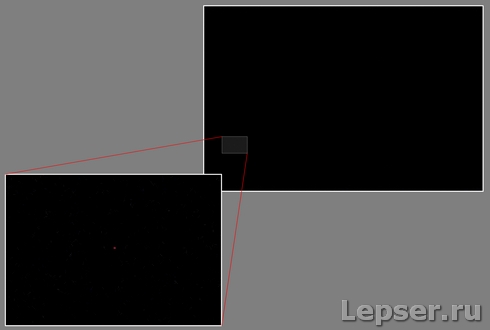
цифровой шумЭто мелкие элементы изображения (частицы / точки), которые выглядят как светлые, темные или цветные точки. Цифровой шум отвлекает зрителя от фотографии, придает неестественный вид изображению и, в целом, портит впечатление от снимка, даже если на нем изображено что-то уникальное и достаточно редкое. Каким бывает цифровой шум?

* Постоянный цифровой шум.
* Случайный цифровой шум.

Постоянный**цифровой шум** проявляется одинаково на всех фотографиях (для конкретного фотоаппарата конечно) и связан с “горячими” и “битыми” пикселями. На месте битых пикселей постоянно горят светлые или темные точки. Горячие пиксели проявляются при длительных выдержках, когда фотосенсор сильно нагревается. Проявляться горячие пиксели могут в виде цветных точек, расположенных на одном и том же месте от кадра к кадру. Для того, чтобы узнать сколько горячих пикселей и в каких местах матрицы вашей фотокамеры они расположены проведите следующий опыт:

**Закройте крышку фотоаппарата, выберите максимальное значение чувствительности ISO, выставьте выдержку 30 секунд, отключите встроенный шумоподав  и вы все увидите.**

Ниже на фотографии вы можете посмотреть горячие пиксели моей фотокамеры Nikon D90.

[](https://lepser.ru/wp-content/uploads/2011/06/cifrovoj-shum-gorjachie-pikseli-big.jpg)

Цифровой шум на фотографии. Горячие пиксели.

Фотография сделана с ISO 3200, выдержка 30 секунд, объектив камеры был закрыт крышкой. Случайный цифровой шум выглядит как точки произвольного цвета, хаотично разбросанные по всему кадру. Данный вид шума хорошо заметен на однотонных поверхностях (небо, кожа, тени). На рисунке ниже вы как раз можете увидеть случайный цифровой шум.

[](https://lepser.ru/wp-content/uploads/2011/06/cifrovoj-shum-00001.jpg)

Цифровой шум на изображение

На камерах с [массивом цветных фильтров](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B2_%D1%86%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D1%84%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2) (к этому типу принадлежат большинство цифровых камер) цветовой шум обычно имеет визуально более крупные зерна, чем пиксели на изображениях. Это является побочным эффектом для алгоритма получения полноцветного изображения.

Для [трехматричных](https://ru.wikipedia.org/wiki/3CCD" \o "3CCD) систем или матрицы без фильтра шум будет более мелкозернистым.

В цветном изображении шум может иметь разную интенсивность для разных каналов изображения. Это визуально окрашивает его. Шум на фотографии снятой при лампах накаливания имеет преимущественно желто-синие оттенки, а не зелёно-фиолетовые. Дело в том, что хотя изначально все пиксели одинаково подвержены шуму, но после применения баланса белого синий канал изображения, и, соответственно, шум в нём увеличиваются сильнее.

Шум заметен на однотонных участках, а в особенности — на тёмных участках изображения.

Еще один способ делений цифровых шумов на категории:

* Яркостный цифровой шум (luminance noice).
* Хроматический цифровой шум (chrominance noice).

Яркостный цифровой шум (luminance noice)  проявляется на изображении в виде маленьких темных точек (или пятен) и зачастую напоминает зерно обычной фотопленки. Хроматический**цифровой шум** (chrominance noice)  на изображении проявляется в виде маленьких пятен (точек) другого цвета, отличается от цвета той области, где такой шум проявляется (именно поэтому он очень хорошо виден). Хроматический цифровой шум сильно бросается в глаза и неприятен для восприятия.

Факторы влияющие на уровень цифрового шума.

1. Физический размер фотосенсора и его разрешение. Чем меньше физический размер (габариты) фотосенсора и больше его разрешение, тем выше уровень шумов для данной матрицы – не нужно гнаться за мегапикселями. Данное утверждение актуально при неизменной технологии изготовления фотосенсоров. Электроника шагает вперед семимильными шагами. Производители поддерживают “шумность” матрицы на одном уровне, а мегапиксели год от года увеличиваются.
2. Чувствиетльность фотосенсора (чувствительность ISO ). Фактически чувствительность фотосенсора постоянна, меняется только коэффициент усиления сигнала. Чем выше ISO, тем больше цифрового шума вы увидите на фотоснимке (при  усилении сигнала возникает больше искажений). Современные фотоаппараты обычно сами выставляют ISO, и в режиме Auto это значение колеблется в диапазоне 50-150 ISO для компактных камер. В компактах может вообще отсутствовать возможность ручного выбора чувствительности ISO – электроника сама решит, что лучше =). В зеркальных камерах диапазон  ISO шире и а автоматическом режиме может быть от 100-400 ISO, для дорогих “зеркалок” диапазон ISO с приемлемым уровнем цифровых шумов естественно выше.
3. Выдержка или время экспонирования кадра. Уровень цифровых шумов сильно зависит от температуры фотосенсора, чем температура выше, тем выше уровень шума на изображении. При серийной съемке температура матрицы повышается, поэтому последний кадр из серии будет самым “шумным”. Чем короче выдержка, тем меньше цифровых шумов. При длительной выдержке (1 секунда и более) уровень цифровых шумов возрастает. Здесь нужно понимать, что не во всех случаях можно установить короткую выдержку. Например: Фотосъемка танцев в темном помещении. Использовать дополнительное освещение (вспышку) нельзя, так как это может сбить танцоров с ритма и будет мешать зрителю, а использование длительной выдержки приведет к появлению “шевеленки” ([смазанность изображения](https://lepser.ru/teoriya-fotografii/shevelyonka-chto-takoe-shevelyonka-i-kak-ee-ubrat-chast-1.html" \o "Шевелёнка (смазанность изображения). Что такое шевелёнка, и как ее убрать. Часть 1." \t "_blank)). В данном случае придется пойти на компромисс – увеличить ISO и как следствие можно будет уменьшить выдержку и избежать “смазанности изображения”.

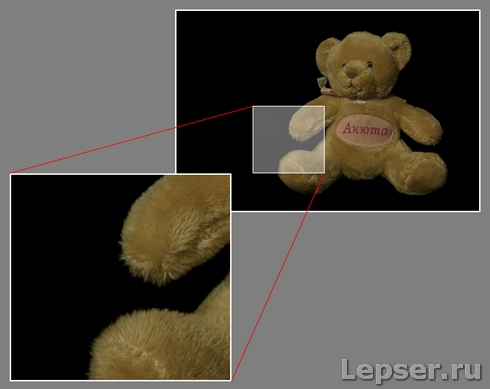
## Причины возникновения цифрового шума[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&veaction=edit&section=3) | [править код](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&action=edit&section=3)]

На отношение сигнал-шум влияют шумы аналоговой электроники цифрового фотоаппарата («обвязка», усилители, [АЦП](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%A6%D0%9F)), но основным источником цифрового шума является [фотосенсор](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80" \o "Фотосенсор). Цифровой шум в фотосенсоре возникает по следующим причинам.

1. Дефекты (примеси и др.) [потенциального барьера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B1%D0%B0%D1%80%D1%8C%D0%B5%D1%80) вызывают утечку заряда, сгенерированного за время экспозиции — т. н. чёрный дефект. Такие дефекты видны на светлом фоне в виде тёмных точек.
2. ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *Dark current* — Темновой ток) — является вредным следствием термоэлектронной эмиссии и [«туннельного» эффекта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D0%BD%D0%BD%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82) и возникает в сенсоре при подаче потенциала на электрод, под которым формируется [потенциальная яма](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8F%D0%BC%D0%B0). «Темновым» данный ток называется потому, что складывается из электронов, попавших в яму при отсутствии светового потока. Такие дефекты видны на тёмном фоне в виде светлых точек, т. н. белый дефект. Белые дефекты особенно проявляются при больших экспозициях. Основная причина возникновения темнового тока — это примеси в кремниевой пластине или повреждение кристаллической решётки [кремния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80). Чем чище кремний, тем меньше темновой ток. На темновой ток оказывает влияние температура элементов камеры, электромагнитные наводки, как внешние, так и внутренние, от самой камеры. При увеличении температуры на 6-8 градусов значение темнового тока удваивается.
3. Из-за шума, возникающего вследствие стохастической природы взаимодействия фотонов света с атомами материала фотодиодов сенсора. При движении фотона внутри кристаллической решётки [кремния](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%BE%D1%80), вероятно, что фотон, «попав» в атом кремния, выбьет из него электрон, родив пару электрон-дырка, но сказать точно, сколько фотонов родит пары, а сколько пропадёт с какими-то другими эффектами, нельзя. Электрический сигнал, снимаемый с сенсора, будет соответствовать количеству рождённых пар. Снимаемый сигнал с сенсора при заданных выдержке и диафрагме (интенсивности света) будет определять [квантовая эффективность](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) — среднее число рождаемых пар электрон-дырка.
4. Из-за наличия дефектных (не работающих) пикселей, которые возникают при производстве фотосенсоров (несовершенство технологии) и всегда находятся в одном и том же месте. Для устранения их негативного влияния используются математические методы интерполяции, когда вместо дефектного «подставляется» либо просто соседний элемент, либо среднее по прилегающим элементам, либо значение, вычисленное более сложным способом. Естественно, что вычисленное значение отличается от фактического и ухудшает резкость конечного изображения. Этот же дефект вносит интерполяция, корректирующая конечное изображение, при использовании [фильтра Байера](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80_%D0%91%D0%B0%D0%B9%D0%B5%D1%80%D0%B0).



Для того, чтобы не быть голословным, посмотрите фотографии с одинаковой выдержкой – 30 секунд и разными значениями чувствиетльности ISO (200 и 3200).

[](https://lepser.ru/wp-content/uploads/2011/06/cifrovoj-shum-00002-big.jpg)

Фотография сделана с чувствительностью ISO 200, выдержка 30 секунд.

[](https://lepser.ru/wp-content/uploads/2011/06/cifrovoj-shum-00003-big.jpg)

Фотография сделана с чувствительностью ISO 3200, выдержка 30 секунд. Влияние ISO и выдержки на цифровые шумы вы можете посмотреть в конце статьи.

## Что влияет на величину цифрового шума[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&veaction=edit&section=4) | [править код](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&action=edit&section=4)]

* Плотность элементов — размер фотодиода на микросхеме зависит от технологии. По технологии [CCD](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%97%D0%A1-%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D0%B0) элементов «обвязки» у пиксела меньше, чем по технологии [CMOS](https://ru.wikipedia.org/wiki/CMOS) и больше площади сенсора достается линзе фотодиода. Это особенно сказывается на сенсорах маленького размера. При одинаковых физических размерах сенсора, у сенсора, имеющего большее [разрешение](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_(%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0)#%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%86%D1%8B_%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8B), активная площадь каждого фотодиода меньше. На маленькие линзы фотодиода падает меньше света, меньшие потенциалы считываются с фотодиода и требуется бо́льшее аналоговое усиление сигнала перед оцифровкой. В результате больше уровень шума и меньше отношение сигнал-шум. Но данное утверждение справедливо только при неизменной технологии изготовления матрицы. Новые матрицы могут содержать менее шумные элементы и соответственно можно или увеличивать разрешение с сохранением уровня шума, или сохранить разрешение, но уменьшить шум. На текущий момент производители предпочитают вариант сохранения уровня шума и увеличение разрешения.
* Время [экспонирования](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5). Темновой ток фотодиода при больших экспозициях сильно ухудшает отношение сигнал-шум. Чем больше время экспонирования (при равном количестве попавшего на матрицу света), тем больше [тепловой шум](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC) [транзисторов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80) электроники и хуже отношение сигнал-шум.

#### Цифровой шум. Способы борьбы с цифровым шумом.

Борьбу с цифровым шумом можно разделить на два этапа: борьба с шумом на уровне возникновения и устранение цифрового шума (более профессиональный термин – подавление цифрового шума) на готовом изображении. Борьба с цифровым шумом на этапе возникновения.

1. Уменьшение чувствительности фотосенсора – уменьшение ISO.
2. Уменьшение выдержки.
3. Применение светосильной оптики – диафрагму объектива можно открыть шире и, как следствие, можно сделать короче выдержку и уменьшить ISO.
4. Применение дополнительного освещения (вспышка) при фотографировании. Применение вспышки позволит улучить освещенность и, как следствие, уменьшить выдержку и ISO.
5. Включить “шумоподав” на фотоаппарате. По умолчанию на большей части фотоаппаратов включен режим шумоподавления на высоких ISO и длинных выдержках. Режимы цифрового шумоподавления хороши для тех людей, которые не заморачиваются на обработке фотографий, но для микростокера это не приемлемо. Встроенные в фотоаппарат функции шумоподавления очень просты и без доли стеснения безвозвратно удаляют мелкие детали изображения с вашего снимка, поэтому встроенный “шумоподав” лучше отключить, а удаление цифровых шумов делать в специально предназначенных для этого программах, в них этот процесс более контролируем.
6. Фотосъемка в формате RAW. При фотосъемке в этом формате у фотографа больше возможностей по редактированию снимка в графических редакторах, так как RAW формат содержит больше информации о снимке, чем JPG, следовательно, и шансов на получение качественного снимка больше.

## Подавление цифрового шума[[править](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&veaction=edit&section=2) | [править код](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D1%88%D1%83%D0%BC_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&action=edit&section=2)]

Существуют всевозможные способы подавления цифрового шума на уровне сенсора, трактов цифрового фотоаппарата и при дальнейшей цифровой обработке.

На уровне сенсора используются пиксели большего размера и более плотно прилегающие друг к другу микролинзы. Также, можно использовать цветные фильтры, пропускающие больший процент света. Последний способ может отрицательно сказываться на качестве цветопередачи камеры.

Использование более высококачественных усилителей и [АЦП](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C) с большей разрядностью также, очевидно, позволяет уменьшить шум. Иногда (например, в астрофотосъёмке) используют охлаждение матрицы.

Подавление цифрового стохастического шума при постобработке проводится усреднением яркости пикселя по некоторой группе пикселей, который алгоритм считает «похожими». Обычно при этом ухудшается детальность изображения, оно становится более «мыльным». Кроме этого, могут проявится ложные детали, которых не было на исходной сцене. Например, если алгоритм будет искать «похожие» пиксели недостаточно далеко, то мелкозернситый и среднезернистый шум может быть подавлен, а слабый, но всё равно довольно заметный неестественный «крупный» шум останется видимым.

**Способы измерения уровня шумов на изображении**

Способов для оценки уровня шумов, которые присутствуют на изображении большое множество и каждый из них имеет свою сферу применения.

Допустим, можно измерить классическое отношение сигнал/шум, которое будет вычисляться как отношение среднего значения яркости на участке, к среднему уровню шума. Однако такая оценка может оказаться неинформативной, либо трудно-вычисляемой. Для того, чтобы измерить SNR нам нужно знать уровень шума, который не так просто оценить, не имея никаких априорных данных о природе шума, его интенсивности и т.д.

Поэтому для оценки качества изображения используются другие подходы.

Как правило для более информативной оценки уровня

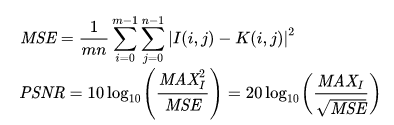
Рассмотрим одними из самых распространенных оценок –MSE, PSNR, SSIM.

# Пиковое отношение сигнала к шуму

**Пиковое**[**отношение сигнала к шуму**](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB/%D1%88%D1%83%D0%BC) ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *peak signal-to-noise ratio*) обозначается аббревиатурой **PSNR** и является инженерным термином, означающим соотношение между максимумом возможного значения [сигнала](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB) и мощностью [шума](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%83%D0%BC), искажающего значения сигнала. Поскольку многие сигналы имеют широкий динамический диапазон, PSNR обычно измеряется в логарифмической шкале в [децибелах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%86%D0%B8%D0%B1%D0%B5%D0%BB).

PSNR наиболее часто используется для измерения уровня искажений при [сжатии изображений](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B6%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9). Проще всего его определить через среднеквадратичную ошибку ([СКО](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) или MSE ([англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *mean square error*).

1. В случае использования MSE этот показатель для двух монохромных изображений *I* и *K* размера *m*×*n*, одно из которых считается зашумленным приближением другого, вычисляется по формуле:

{\displaystyle {\mathit {MSE}}={\frac {1}{mn}}\sum \_{i=0}^{m-1}\sum \_{j=0}^{n-1}|I(i,j)-K(i,j)|^{2}}

PSNR определяется так:

{\displaystyle {\mathit {PSNR}}=10\log \_{10}\left({\frac {{\mathit {MAX}}\_{I}^{2}}{\mathit {MSE}}}\right)=20\log \_{10}\left({\frac {{\mathit {MAX}}\_{I}}{\sqrt {\mathit {MSE}}}}\right)}

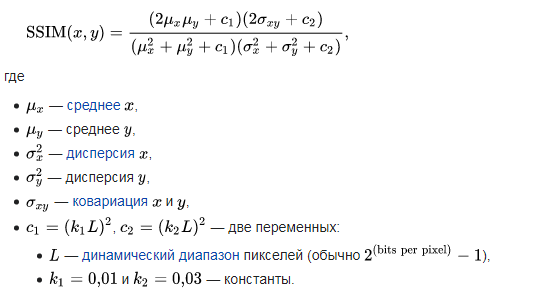
где *MAXI* — это максимальное значение, принимаемое пикселем изображения. Когда пиксели имеют разрядность 8 бит, *MAXI = 255*. Вообще говоря, когда значения сигнала представлены линейно ([PCM](https://ru.wikipedia.org/wiki/PCM)) с *B* битами на значение, максимально возможное значение *MAXI* будет 2B-1.

# SSIM

Индекс структурного сходства (**SSIM** от [англ.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B3%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) ***structure similarity***) является одним из методов измерения схожести между двумя изображениями. SSIM-индекс это метод полного сопоставления, другими словами, он проводит измерение качества на основе исходного изображения (не сжатого или без искажений). SSIM-индекс является развитием традиционных методов, таких как [PSNR](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B0_%D0%BA_%D1%88%D1%83%D0%BC%D1%83) (peak signal-to-noise ratio) и метод среднеквадратичной ошибки [MSE](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%B4%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), которые оказались несовместимы с физиологией человеческого восприятия.

Отличительной особенностью метода, помимо упомянутых ранее (MSE и PSNR), является то, что метод учитывает «восприятие ошибки» благодаря учёту структурного изменения информации. Идея заключается в том, что пиксели имеют сильную взаимосвязь, особенно когда они близки пространственно. Данные зависимости несут важную информацию о структуре объектов и о сцене в целом.

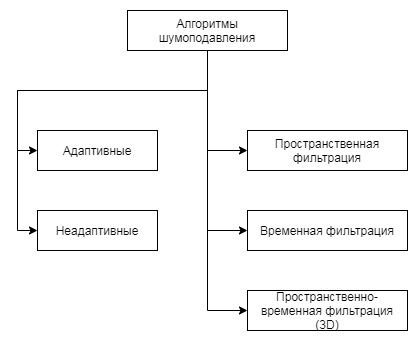
SSIM метрика рассчитана на различные размеры окна. Разница между двумя окнами {\displaystyle x} и {\displaystyle y} имеющими одинаковый размер *N*×*N*:



Приведённая формула применима только для яркости изображения, по которой и происходит оценка качества. Полученный SSIM-индекс лежит в пределах от −1 до +1. Значение +1 достигается только при полной аутентичности образцов. Как правило, метрика рассчитана на окно размером 8×8 пикселей. Окно может смещаться через пиксель, но специалисты рекомендуют использовать группы окон для уменьшения сложности вычислений.

Классификация подходов в алгоритмам шумоподавления может быть достаточно сложной, так как часто подходы комбинируются с целью достижения лучших результатов. Причем каждый подход оправдывает себя в тех или иных условиях, которые характеризуются разным уровнем шумов, его природой и условий получения самого изображения (яркий солнечный день или полночь, и т.д.).

Мы разделим известные алгоритмы по 2 параметрам: по способу фильтрации в пространстве и времени, и способности к интеллектуальной обработке кадра для учета его особенностей. Диаграмма классификации представлена на рисунке 10.



*Рис.10. Классификация алгоритмов шумоподавления*

Рассмотрим подробнее некоторые алгоритмы, относящиеся к этим группам.

К адаптивным можно отнести билатеральный фильтр, который помимо евклидова расстояния учитывает и яркостную составляющую пикселов. «Адаптивность» здесь проявляется за счет учета информационной составляющей пиксела. Если его значение сильно отличается от значений остальных, то вероятнее всего этот пиксел является шумовым, следственно, следует уменьшить «вес» при вычислении результирующего значения. Если же на самом деле под маской находятся несколько таких пикселов, возможно, это не шумовая составляющая, а часть границы какого-либо предмета на изображении. Соответственно распределение в таком случае также изменится, что позволит сохранить границу, не размыв тем самым изображение.

Также можно модифицировать медианный фильтр, добавив оценку достоверности перед заменой. Принцип работы этого фильтра основан на следующем: он заменяет значение каждого пиксела на среднее значение тех его соседей, значение которых отличается от данного пиксела не более чем на заданную величину (порог). При этом соседи рассматриваются в области, определенной радиусом. Благодаря этому низкоуровневый шум размывается, а резкие детали остаются нетронутыми.

Но иногда изображение становится менее естественным.

Фильтры Гаусса, медианный, усредняющий относятся к неадаптивным.

Гораздо интереснее рассмотреть способы шумоподавления в видеоряде. Ведь у нас появляется дополнительная информация с предыдущих кадров, которую можно использовать в том числе для дополнительного шумоподавления.

Выделяют следующие методы шумоподавления видео:

* Пространственные методы — алгоритмы шумоподавления изображения применяются для каждого кадра отдельно.
* Временные методы — усреднение между несколькими последовательно идущими кадрами. Могут появляться артефакты в виде раздвоения изображения.
* Пространственно-временные методы — так называемая 3D-фильтрация, сочетают оба метода, основаны на пространственно-временной корреляции изображения.

Временные методы достаточно просты с точки зрения подхода. Если шум имеет случайный характер, то накопив несколько кадров и соответствующим образом их сложив, мы снизим шумовую компоненту на изображении. Так как в одном кадре в каком-то пикселе присутствует шумовой выброс, но на других кадрах его, и при сложении результирующий пиксел будет содержать в значительной степени меньше шумов.

Однако такой подход плохо работает с динамическими изображениями, так как усреднение по кадрам даст «смаз» деталей, ведь значительное изменение пиксела рассматривается с точки зрения шума.

Пространственно-временные методы являются более точными в сравнении с предыдущим подходом, так как позволяет скомпенсировать движение в кадре, если такое было определено и т.д. Однако 3D алгоритмы являются в значительной степени более ресурсозатратными, при этом надо учитывать, что для обработки необходимо накопить некоторое количество кадров перед тем, как осуществлять коррекцию изображения. В ряде приложений, требующих обработки видеопотока в режиме реального времени, такая задержка на обработку может быть не допустима. Помимо задержки на обработку необходимо предусмотреть буферизацию кадров, что при современных стандартах разрешения цветного изображения 1920х1080, глубине пиксела 12 бит потребует порядка 9 Мбайт на 1 кадр, следовательно при накоплении нескольких кадров необходимый объем памяти линейно растет, что может не позволять использовать интегрированные в видеопроцессоре блоки памяти, если речь идет о малогабаритных и автономных задачах, так как потребуются дополнительные модули внешней памяти, которые могут потребовать дополнительного места на печатной плате, увеличивать потребление питания и задержку на обращение к памяти при записи и чтении.

Поэтому для реализации алгоритмов в ПЛИС следует обратить внимание на фильтра, основанные на пространственной фильтрации. Рассмотрим некоторые фильтры, относящиеся к данному типу.

Можно выделить следующие базовые подходы к пространственному шумоподавлению:

1. Линейное усреднение пикселей по соседям
2. Медианная фильтрация
3. Гауссовское размытие
4. Билатеральная фильтрация
5. Методы на основе вейвлет-преобразования
6. Метод главных компонент

Некоторые из этих методов применимы с небольшими модификациями также и во временной области.

Заметим, что алгоритмы на основе вейвлет-преобразования и метода главных компонент применяются, в основном, для обработки статичных изображений, хотя и обеспечивают наилучшее качество среди всех вышеперечисленных методов. Дело в том, что эти алгоритмы работают очень медленно и даже при хорошей оптимизации не могут обеспечить обработку в реальном времени, а при обработке видео скорость играет очень важную роль.

Способышумоподавления В настоящее время основными способами шумоподавления являются технологии класса 2DNR и 3DNR. Двумерное шумоподавление 2DNR, разделяется на: пространственное, временное. Первое из которых создает основной упор на тщательном анализе изображений исключительно в пространственной области, а второе – ориентируется на подавление цифровых шумов во временном направлении. При этом временное шумоподавление зачастую бывает основано на адаптивном или компенсационном методе фильтрации, которые заключаются в своеобразном анализе пикселей, находящихся в одной и той же позиции в разных кадрах, а также на анализе траектории движения. Основным недостатком данного двумерного метода шумоподавления является получение не слишком качественных, а порой даже и очень размытых изображений прошедших фильтрацию и предварительную обработку. Что же касается трехмерного 3DNR шумоподавления, то данный фильтр лишен подобных недостатков и не имеет существенных отличий от вышеупомянутого способа шумоподавления, за тем лишь исключением, что в нем применяется анализ сразу нескольких последовательных кадров как по средствам временной, так и по средствам по-пиксельной фильтрации. Иными словами, данный метод основан на выявлении степени различий между несколькими пикселями в каждом последующем кадре, определении уровня нежелательных искажений и определении вектора движения, что в итоге позволяет рассчитать результат по усредненному значению пикселей и получить качественное изображение даже при самой неблагоприятной освещенности.   3DNR - технология шумоподавления 3DNR (3D Noise Reduction) является одной из наиболее прогрессивных технологий в области подавления шумов в изображениях и представляет собой отличное средство для повышения качества снимков сделанных в условиях плохой освещенности. Данная технология крайне востребована как в различных системах передачи видеосигнала, так и в современных механизмах видеонаблюдения, поскольку позволяет проводить достаточно качественную фильтрацию шумов и повышать шумоподавление в изображениях. С помощью «3D Noise Reduction» можно существенно уменьшить уровень шума цифрового видео, улучшить картинку после ее декомпрессии или декодирования, а также добиться более качественного отображения сигнала при плохом или не полном освещении. Использование данной технологии в большинстве современных цифровых систем видеонаблюдения, является более чем обоснованным и оправданным, поскольку наличие чрезмерного шума в видеосигнале может привести к существенному ухудшению качества картинки и привести к нестабильной и малоэффективной работе всей системы в целом.

### Линейное усреднение пикселей

Простейшая идея удаления шума - усреднять значения пикселей в пространственной окрестности. Для каждого пикселя анализируются соседние для него пиксели, которые располагаются в некотором прямоугольном окне вокруг этого пикселя (см. рисунок 2.1.1а). Чем больше взят размер окна, тем сильнее происходит усреднение. Самый простой вариант фильтрации - в качестве нового значения центрального пиксела брать среднее арифметическое всех тех его соседей, значение которых отличается от значения центрального не более чем на некоторый порог. Чем больше величина этого порога, тем сильнее происходит усреднение.

Вместо среднего арифметического соседей можно брать их взвешенную сумму, где весовой коэффициент каждого соседнего пиксела зависит либо от расстояния в пикселях от него до центрально пикселя, либо от разницы их значений.

Эти алгоритмы очень простые, но они не дают хорошего результата.

Интересная модификация этого метода была предложена Де Хааном [4-6]. Он предложил в качестве значения центрального пикселя также брать взвешенную сумму соседних пикселей, только соседей брать не подряд, а через один или два пикселя (см. рисунок 2.1.1б). Утверждается, что при таком подходе удается подавить низкочастотный шум, который заметнее на глаз, чем высокочастотный.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image005.gif |  | http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image007.gif |
| **Рисунок 2.1.1а.** Обычный вид окна |  | **Рисунок 2.1.1б.** Вид окна в алгоритме Де Хаана |

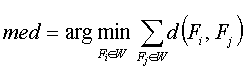
Аналогично можно применять этот метод во временной области, только усреднение будет производиться уже между соседними кадрами, и окно соответственно будет браться по времени (то есть каждый пиксель будет усредняться по пикселям, расположенным в той же позиции в соседних кадрах). В общем виде такую схему шумоподавления можно выразить следующей формулой:  
http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image010.gif,  
где x - пиксель, а t - номер кадра. Веса http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image012.gif могут браться в зависимости от близости значений пикселей и расстояния между кадрами. Также усреднение может проводиться рекурсивно:  
http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image014.gif,  
где http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image016.gif- значение, посчитанное для этого пиксела в предыдущем кадре. Для предотвращения возникновения ореолов вокруг движущихся объектов, о которых было сказано выше, во временные фильтры встраивают алгоритмы определения движения. При этом возможно два варианта: простое детектирование движения (пикселы в движущихся блоках просто остаются без изменения, и шум вдоль движущихся объектов не подавляется) или построение скомпенсированного предыдущего и/или следующего кадра (см. [27]) и смешивание текущего с ним. В последнем случае компенсация движения должна быть выполнено качественно, иначе будут артефакты на месте неправильно найденных блоков.

### Медианная фильтрация

Медианная фильтрация - это стандартный способ подавления импульсного шума.

Для каждого пиксела в некотором его окружении (окне) ищется медианное значение и присваивается этому пикселу. Определение медианного значения: если массив пикселей отсортировать по их значению, медианой будет серединный элемент этого массива. Размер окна соответственно должен быть нечетным, чтобы этот серединный элемент существовал.

Медиану также можно определить формулой:  
http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image018.gif,  
где W - множество пикселей, среди которых ищется медиана, а fi - значения яркостей этих пикселей.

Для цветных изображений используется векторный медианный фильтр (VMF):  
,  
где Fi - значения пикселей в трехмерном цветовом пространстве, а d - произвольная метрика (например, евклидова).

Однако в чистом виде медианный фильтр размывает мелкие детали, величина которых меньше размера окна для поиска медианы, поэтому на практике практически не используется. Пример усовершенствованной медианной фильтрации можно найти в [1].

### Гауссовское размытие

Гауссовское размытие - это свертка изображения с функцией  
http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image022.gif,  
где параметр s задает степень размытия, а параметр A обеспечивает нормировку. Фактически, это то же усреднение, только пиксель смешивается с окружающими по определенному закону, заданному функцией Гаусса. Матричный фильтр, посчитанный по указанной формуле, называется гауссианом; чем больше его размер, тем сильнее размытие (при фиксированном s). Поскольку данный фильтр сепарабелен, то есть представим в виде  
http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/images/noise/image024.gif,  
то свертку можно производить последовательно по строкам и по столбцам, что приводит к значительному ускорению работы метода при больших размерах фильтра.

Вблизи границ (контуров на изображении) такой фильтр применять нельзя, чтобы не смазать детали изображения. Как следствие вдоль границ остается зашумленный контур.

Можно немного модифицировать этот метод для лучшей адаптации к границам: искать в каждом окне наилучшее направление размытия (наличие границы), вычисляя производные по направлениям, и применяя в данном окне направленный гауссиан вдоль найденной границы. В результате размытие будет проводиться вдоль границ изображения, и зашумленного контура не будет.