

Как определить гейн в фотоаппарате.

Для начала определимся, что такое гейн, и как он соотносится с ISO. Все мы привыкли, что ещё с плёночных времён чем выше ISO, тем больше чувствительность приёмника света: плёнки, или в наши дни — матрицы фотоаппарата. Однако, если в случае плёнки величина ИСО определяется её химическим составом, то как же дела обстоят с цифровыми приёмниками? Ведь при изменении чувствительности мы не заменяем сам сенсор. В фотоаппарате он у нас один. Как же осуществляется это изменение?

Матрица фотоаппарата — это массив светочувствительных полупроводников, которые способны изменять величину своего заряда в зависимости от количества, попавшего на них света. Для нас в данном случае не важно, уменьшается заряд или увеличивается. Главное, что изменение заряда линейно связано с числом фотонов, которые выбивают электроны, изменяя заряд в каждом полупроводнике-пикселе.

Далее накопленный заряд считывается, оцифровывается (Аналогово-Цифровым Преобразователем) и записывается в файл. Сырой RAW, или обработанный jpg. Вот как раз перед оцифровкой мы можем умножить накопленный заряд на некий множитель, а уже потом его оцифровать. Казалось бы, почему не умножить его после АЦП. Предположим, что разрядность АЦП — 14 бит (как в большинстве современных фотоаппаратов). Т.е. мы можем получить 16384 градации яркости. Если пиксель способен накопить, скажем 30000 электронов, то с точки зрения АЦП добавка в соседний пиксель одного электрона не приводит к его отличию от первого. В этом случае сигнал хотя и есть, но оказывается слишком слабым для оцифровки. Т.е. умножать нужно именно ДО прохождения через АЦП (который, весьма некстати, тоже вносит небольшой шум на изображение). Так вот, выбор чувствительности — это как раз изменение коэффициента усиления.

Установка минимального ISO хороша тем, что динамический диапазон при этом максимален, и это понятно — мы используем всю доступную глубину потенциальной ямы, в которой храним электроны. Однако при попытке осветлить изображение на пост-обработке у нас во всей красе вылезет структура шума считывания. Увеличивая ИСО/гейн мы уменьшаем рабочую область «ямы», однако нам уже не придётся так сильно тянуть яркость в редакторе, а значит влияние шума считывания с ростом ИСО падает¹. Что же нам делать? На низком ИСО нас стережёт шум считывания, а на высоком — падение динамического диапазона. Очевидно, что нужен какой-то компромисс. В этой роли выступает нативное ИСО, где коэффициент усиления близок к единице и каждый электрон даёт одну единицу АЦП.

Как же нам найти этот волшебный коэффициент, и соответствующее ему волшебное ИСО? На сайте cloudynights описана методика, однако не описан её физический вывод. Тут я попытаюсь исправить этот досадный пробел, т.к. хотелось бы не просто слепо следовать рецепту, но и понимать, что за ним стоит.

Статья о выборе нативного ИСО с наглядными картинками есть у [Юрия Звёздного](#).

¹Определить шум считывания в абсолютных единицах — электронах, можно будет, измерив величину шума на кадре с током смещения и разделив её на гейн.

Итак, представим, что в нашем распоряжении есть некий чёрный ящик — фотоаппарат. Который полученный свет (фотоны, выбившие электроны) умножает на какой-то коэффициент и оцифровывает получившееся значение. Мы хотим каким-либо способом его узнать. В этом нам поможет так называемый "фотонный шум".

Источник света с определённой яркостью испускает некоторое число фотонов в секунду, и в среднем оно будет величиной постоянной. Однако если взять определённый временной интервал число фотонов будет случайно флуктуировать вокруг некой средней величины. Величина этой флуктуации, согласно распределению Пуассона, равна корню квадратному из среднего значения.

То есть нам нужен источник света с заранее известной, и контролируемой в процессе измерения, яркостью. Для этого вполне подойдёт экран монитора с равномерно залитым фоном, который мы будем снимать близкорасположенным длиннофокусным объективом. Дополнительно можно расфокусировать изображение, чтобы пиксели экрана уж точно не отразились на нашей фотографии.

Итак, предположим мы сняли пару фотографий нашего плоского поля, вычли из них мастер-кадр тока смещения (30-40 кадров, снятых с закрытой крышкой с минимальной выдержкой и усреднённых будет вполне достаточно) и выбрали область свободную от пыли, градиентов и прочей бяки. Какая информация теперь у нас есть, и что мы можем с ней сделать?

Как я уже говорил выше — число электронов зависит от числа упавших (и зарегистрированных) фотонов, умноженный на коэффициент усиления, т.е. для двух кадров мы имеем:

$$N_1 = k e_1 \quad N_2 = k e_2$$

Из-за наличия фотонного шума среднее значение e_1 , будет варьировать в пределах $\pm\sqrt{e_1}$, как и e_2 . Удобно найти величину этой вариации, вычтя N_1 из N_2 , получив $d = N_1 - N_2 = k(e_1 - e_2)$. Т.к. в среднем $N_1 = N_2$ наша разность даст величину стандартного отклонения безо всяких смещений. Которое, по определению для ошибки косвенного измерения двух величин равно:

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial e_1}\right)^2 (\Delta e_1)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial e_2}\right)^2 (\Delta e_2)^2}$$

Видно, что производные равны $\pm k$. А вспомнив, что флуктуация равна корню из среднего значения мы получаем:

$$\Delta d = \sqrt{(k)^2 e_1 + (k)^2 e_2} = \sqrt{k(k e_1 + k e_2)} = \sqrt{k(N_1 + N_2)}$$

С другой стороны — среднее арифметическое двух кадров равно:

$$Av = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

Видно, что мы можем получить нашу желаемую k :

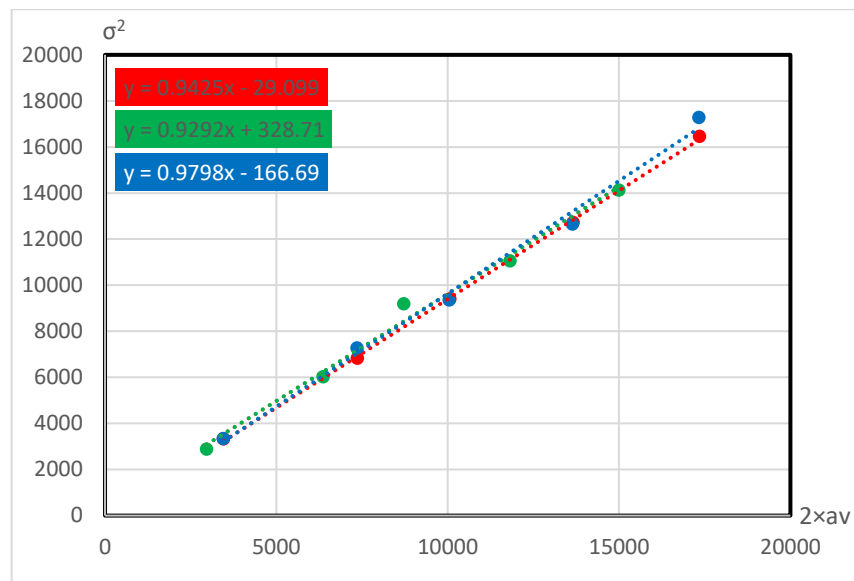
$$\frac{(\Delta d)^2}{Av} = \frac{2k(N_1 + N_2)}{(N_1 + N_2)}$$

Или, сокращая скобку и деля на два:

$$k = \frac{(\Delta d)^2}{2Av}$$

Т.е. вычитаем из одного изображения второе, находим стандартное отклонение и возводим его в квадрат, а потом делим на удвоенное среднее.

Чем больше таких независимых пар при разной яркости монитора мы получим, тем точнее будет наша оценка гейна. А величина равная $1/k$ даст нам число электронов, приходящееся на единицу АЦП. Для лучшего увеличения точности можно применить линейную регрессию. Поставить монитор на максимальную яркость и получить пару кадров с самой длинной выдержкой, такой, чтобы ещё не было пересвета ни в одном из каналов (ориентироваться лучше не по гистограмме фотоаппарата, а по реальным значениям, контролируя их в программе). После этого убавлять яркость монитора и продолжать делать пары экспозиций, не меняя параметров в течение всей сессии. Полученные средние отложить по оси x , а стандартные отклонения — по y и определить коэффициент наклона: так мы используем МНК для решения избыточной системы уравнений для увеличения точности. Для нативного ISO должна получиться картинка вроде этой:



$k \sim 1$, как мы и искали. Зная гейн определить число электронов, соответствующих насыщению матрицы уже не составляет труда: максимальный отсчёт делим на гейн. Соответственно полную ёмкость пиксела надо искать на минимально доступном ISO.

Надо отметить, для измерений лучше не переводить изображения в цвет, а использовать $rggb$ -каналы разложив RAW файл на соответствующие каналы сразу после калибровки, чтобы алгоритм дебайеризации не искажал исходные данные своими интерполяционными механизмами.

Маленькое послесловие. С моей точки зрения использование нативного ISO оправдано при съёмке высококонтрастных сцен. Когда мы хотим максимально экспонировать тёмные объекты в кадре, не пересветив самые яркие. Если же есть ограничение в выдержке, а ярких объектов на кадре нет, или они слишком малы, то, на мой взгляд, целесообразнее использовать ISO больше нативного. Потому что шум считывания с ростом чувствительности продолжает уменьшаться, а это в свою очередь благотворно влияет на передачу деталей в тенях.

На самом деле, как всегда всё (ну по крайней мере шум считывания) уже сделано до нас, и ответ в конце задачника можно подсмотреть [Вот тут](#). ☺