

[Get a PDF](#)

Большая часть фотокамер, как цифровых так и плёночных, используется сегодня для двух целей:

1. Съёмка людей: портреты, гламур, события, пьянки, вечеринки.
2. Съёмка пейзажей, городов, местности.

Вчера я совершенно неожиданно для себя осознал, для обоих этих направлений существует вполне определённый предел разрешения камер, выше которого расти почти нет смысла. Более того, оценка этого "потолка мегапикселей" возможна количественно.

На пальцах суть ограничения поясняется просто. Как известно, чем больше светочувствительных элементов в матрице или плёнке камеры, тем, при прочих равных условиях, меньше глубина резкости создаваемого ею изображения. Чтобы её поднять, фотограф "закручивает" объектив фотоаппарата, увеличивая значение диафрагмы ("апертуры"). Но делать это до бесконечности тоже невозможно, ибо при слишком узкой диафрагме изображение начнёт "расплываться" из-за дифракции. Получается, что при каждом разрешении камеры существует диапазон допустимого "хода" диафрагмы, выше и ниже которого изображение теряет качество. Этот диапазон тем **уже**, чем больше в камере мегапикселей. Наконец, при каком-то их количестве он обращается в ноль, и дальнейший рост числа точек в матрице оказывается почти бесполезным.

К цифре. Попробуем найти значение этого предела, сосредоточившись для начала на пьяночно-портретной съёмке.

Пусть характерное расстояние объекта съёмки от фотографа будет **d**, а типичная "глубина" снимаемой картины, на которой все предметы должны быть в фокусе -- **w**. Предположим, для простоты выкладок, что мы уже говорим о камерах весьма высокого разрешения, когда **w** << **d**.

Тогда, пренебрегая дифракцией и используя школьную оптику в приближении тонкой линзы, легко вывести, что глубина резкости изображения, снятого камерой с фокусным расстоянием объектива **F** составляет:

$$w \approx sA \left(\frac{d}{F} \right)^2 \quad (1)$$

Здесь **A** -- значение апертуры линзы, а **s** -- размер элемента сенсора либо зерна плёнки.

При фиксированной снимаемой композиции это уравнение можно переписать в качестве неравенства, ограничивающего значение **A** снизу:

$$A > \frac{s}{w} \left(\frac{d}{F} \right)^2 \quad (1a)$$

[Если диафрагма меньше этого, то Вы не добьётесь необходимой глубины резкости]

Следующее уравнение связывает **s** с общим количеством сенсоров в камере:

$$Ns = 2F \cdot \operatorname{tg}(\theta/2) \quad (2)$$

Здесь **N** -- количество точек вдоль стороны или диаметра плоского кадра, а θ -- угол обзора камеры.

Третье, последнее, условие следует из нежелательности (малости) дифракции. Как известно, характерный угол дифракционного "размытия" изображения объективом с диаметром входного отверстия **D** составляет λ/D , где λ -- длина волны света. Из этого легко находится размер дифракционного пятна на матрице фотоаппарата:

$$a \approx \lambda A$$

Поскольку мы не хотим, чтобы дифракция была заметна на кадре, размер этого пятна не должен превышать размера светочувствительного элемента, что приблизительно ограничивает его размеры снизу условием:

$$s > \lambda A \quad (3)$$

[На практике, при фиксированном размере сенсора, из этого оценивается величина допустимой диафрагмы. Так, для Nikon D50 размер **s** составляет **7.9 мкм**. Длина волны света, на котором фотоаппарат наиболее чувствителен -- примерно **0.5 мкм**. Из этого вытекает, что нежелательно использование диафрагмы выше примерно **16**. На практике, как я обнаружил, дифракция становится заметна на снимках в виде лёгкого белесоватого ореола вокруг контрастных объектов при диафрагмах в **~25** и выше].

Неравенства (1a) и (3) и создают ту самую "вилку" по диафрагме, в которую всё сильнее "зажимается" количество элементов в камере с ростом их числа. Решая их совместно с уравнением (2), выводим, наконец, ограничение на **N**, при котором условия (1a) и (3) ещё могут одновременно выполняться:

$$N < \frac{2d \cdot \operatorname{tg}(\theta/2)}{\sqrt{\lambda w}} \quad (4)$$

Каков его физический смысл? Когда разрешение камеры выше, чем (4), то глубина резкости снимаемых ею кадров оказывается слишком малой даже для портретной съёмки. Но при этом увеличить её поднятием апертуры нельзя, т.к. картинка тут же "расплывётся" из-за дифракции.

Подставим в (4) реальные цифры.

При бытовой съёмке людей **d** составляет несколько метров. Сильно ближе -- начнутся искажения; сильно дальше -- не хватит комнаты. Остановимся на цифре в 3 метра.

Половина угла захвата камеры пусть будет 45 градусов. При **больших** значениях изображение будет ненатуральным, с "кривыми рожами" по краям; при меньших же в камеру "не влезет" нормальная бытовая сцена.

Длина волны света -- примерно **0.5 мкм**, если, конечно, не снимать в синем или ближнем ИК.

Наконец, о необходимой глубине резкости. Думаю, вряд ли она может составлять менее **~10 см**, что есть характерный размер черт лица. На практике нередко нужно куда больше, но мы примем более консервативные значения.

Подставив эти цифры в (4), получаем ограничение на количество точек в "бытовой" фотокамере:

$$N < \sim 11000$$

Что соответствует фотоаппарату с примерно **120** мегапикселями.

Это, конечно, не означает, что нельзя сделать камеру с разрешением выше этого предела. Можно. Но практической пользы от такого чуда в большинстве студийных или бытовых ситуаций не будет. Ведь оно не сможет делать кадры "Маша и Паша за пивом". А следовательно, и покупателей на него найдётся немного.

Для пейзажной фотографии тоже можно провести аналогичные выкладки, основываясь на том, что в ней часто требуется достигнуть высокой чёткости на всех объектах начиная с расстояния **r** от фотографа и до бесконечности. Результат приводит вот к такому ограничению:

$$N < 2 \operatorname{ctg}(\theta/2) \sqrt{\frac{r}{\lambda}} \quad (5)$$

Если исключить узкоспециальные сценарии вроде телескопической съёмки, то $\theta/2$ опять составит ~ 45 градусов. Минимальное **r** прикинуть труднее, но, думается, оно не может превышать нескольких десятков метров. Отсюда вытекает, что для пейзажного фотографа рост разрешения камеры имеет смысл лишь при

$$N < \sim 7500 \quad (5a)$$

и "мегапиксельности" камеры $< \sim 50$. Интересно, что современные устройства уже не так уж и далеки от указанной границы. Так, взяв на денёк в аренду Canon EOS 5D с **13**-ю мегапикселями, я на собственном опыте убедился, что составление глубоких и резких пейзажных композиций с ним нередко затруднительно.

Занятно, что из (5a) можно получить ограничение на максимальный физический размер широкоформатных плёночных камер. Как правило, такими

устройствами пользуются профессиональные фотографы для достижения очень высоких разрешений кадров, позволяющих печатать снимки гигантских размеров.

Действительно, если при количестве элементов в горизонтали кадра более ~7500 пейзажная съёмка лучше не становится, а характерный размер зерна в приличной фотоплёнке вряд ли превышает 20 микрометров, то максимальный практически полезный размер плёнки должен составлять величину порядка 15 см. Конечно, в реальности можно сделать фотоаппарат хоть под двухметровую плёнку. Но применение его будет ограничено лишь работой с чрезвычайно удалёнными объектами.

В заключение хочется сказать пару слов о путях обхода этого ограничения. Один из них очевиден: забить. Делать камеры хоть на тысячу мегапикселей и спокойно снимать. При просмотре портретов с такой камеры на экране компьютера потеря резкости всё равно незаметна. А отрываться на полном разрешении можно будет на совершенно плоских объектах.

Другой путь -- камера, которая вместо одного делает, скажем, целый десяток снимков, перемещая точку фокусировки между ними и как бы "нарезая" снимаемую сцену тонкими слоями резкости. Потом из этих слоёв методами цифровой обработки склеивается одно изображение, чёткое по всей глубине картины.

05.06.2006

Ссылка на статью в ЖЖ и её обсуждение:
<http://eugenebo.livejournal.com/62327.html>

===

Text Author(s): Eugene Bobukh === Web is volatile. Files are permanent. **Get a copy:** [[PDE](#)] [[Zipped HTML](#)] === **Full list of texts:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.htm>] === **All texts as a Zip archive:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.zip>] [mirror: <https://1drv.ms/u/s!AhyC4Qz62r5BhO9Xopn1yxWmsxtaOQ?e=b1KSii>] === **Contact the author:** h o t m a i l (switch name and domain) e u g e n e b o (dot) c o m === **Support the author:** 1. **PayPal** to the address above; 2. **BTC:** 1DAptzi8J5qCaM45DueYXmAuiyGPG3pLbT; 3. **ETH:** 0xbDf6F8969674D05cb46ec75397a4F3B8581d8491; 4. **LTC:** LKtdnrau7Eb8wbRERasvJst6qGvTDPbHcN; 5. **XRP:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCEaYecjYxN7z === **Visit other outlets:** Telegram channel <http://t.me/eugeneboList>, my site www.bobukh.com, Habr <https://habr.com/ru/users/eugenebo/posts/>, Medium <https://eugenebo.medium.com/>, Wordpress <http://eugenebo.wordpress.com/>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/eugenebo>, ЖЖ <https://eugenebo.livejournal.com>, Facebook <https://www.facebook.com/EugeneBo>, SteemIt <https://steemit.com/@eugenebo>, MSDN Blog https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/eugene_bobukh/ === **License:** Creative Commons BY-NC (no commercial use, retain this footer and attribute the author; otherwise, use as you want); === **RSA Public Key Token:** 33eda1770f509534. === **Contact info** relevant as of 7/15/2022.

===