

РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ НА ПУТИ ОТ АНАЛОГА К ЦИФРЕ

А. Гонта

Разрешающая способность оборудования CCTV все в большей степени начинает волновать пользователей. В журналах, на интернет-форумах можно найти множество материала, посвященного именно разрешающей способности, способам измерения и контроля этого параметра. Однако все разговоры о разрешающей способности в той или иной степени замыкаются на испытательных таблицах и прочих тест-мирах, которые вроде бы позволяют ответить на поставленный вопрос. Но сегодня, в связи с широкомасштабным использованием разнообразных способов искусственного увеличения резкости (разрешающей способности), испытания оборудования по тест-таблицам не только не помогают ответить на поставленный вопрос, а просто вводят пользователей в заблуждение. Усугубляет этот процесс и многолетнее однобокое освещение понятия «разрешающая способность», в отрыве от других, неразрывно связанных с ней характеристик.

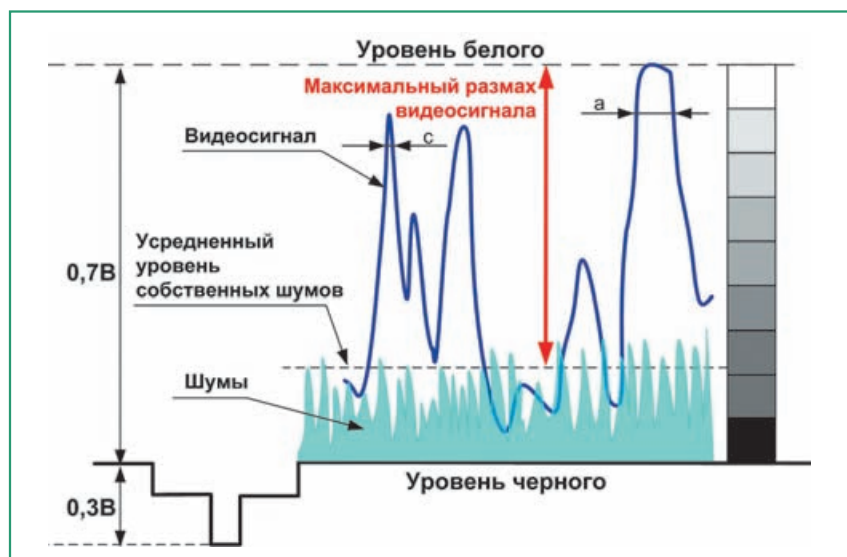
Поэтому разговор о разрешающей способности начнем с рассмотрения стандартной телевизионной строки видеосигнала, которую каждый из нас может увидеть на осциллографе.

Телевизионная строка передает информацию об освещенности объекта за счет изменяющейся амплитуды видеосигнала (рис. 1: синяя линия – это видеосигнал). Чем меньше амплитуда сигнала, тем темнее деталь объекта, которую строка выводит на монитор. Минимальный уровень сигнала называется «уровнем черного», но обычно на этом уровне присутствуют собственные шумы камеры и видеосигнал на экране монитора не виден. Максимальный уровень сигнала (0,7 В) передает на монитор белый цвет, присутствующий на объекте, и называется «уровнем белого».

Все промежуточные амплитуды сигнала передают, соответственно, и промежуточные полутона между черным и белым цветами объекта. Справа, на рисунке 1, изображена серая шкала, которая ориентировочно показывает, какой цвет соответствует какой амплитуде сигнала.

Максимально возможный размах видеосигнала, который мы отчетливо видим на мониторе (не уровень, а именно размах), определяется уровнем собственных

Рис. 1. Видеосигнал в телевизионной строке



шумов видеокамеры или видеотракта, а как характеристика видеокамеры присутству-ет в виде отношения «сигнал/шум». Чем меньше уровень шумов, тем более темные полутона объекта видеокамера способна вывести на монитор и тем больше максимальный размах видимого видеосигнала. В идеале при отсутствии шумов размах видеосигнала простирается от уровня черного до уровня белого. Но это только в идеале. В реальной действительности такого не бывает. Собственные шумы видеокамеры или видеотракта всегда «маскируют» видеосигнал, передающий темные элементы объекта. С увеличением уровня собственных шумов снижается максимальный размах видеосигнала, что приводит к уменьшению количества градаций яркости, которыми прорисовывается объект. Другими словами, качество картинки на мониторе при уменьшении максимального размаха видеосигнала (отношения «сигнал/шум») ухудшается. Количество градаций яркости в видеосигнале можно интерпретировать с количеством красок (цветов), которые художник может использовать, рисуя картину при условии, что смешивать краски он не может. Поэтому чем больше у художника выбор цветовой палитры (градации яркости), тем более выразительнее и точнее он может перенести увиденное на холст.

А где же на осциллограмме мы можем увидеть «разрешающую способность» видеокамеры или видеотракта? Или где на осциллограмме элементы изображения, которые передают минимальный размер объекта, соответствующий максимальной разрешающей способности видеокамеры?

Поскольку строка видеосигнала на рисунке 1 – это временная развертка, то горизонтальная ось на рисунке – это ось времени. Поэтому разрешающая способность оборудования будет заключаться в минимальной на временной оси длительности импульса сигнала. На рисунке 1

Рис. 2. Изменение размаха видеосигнала от размера полос на тест-таблице

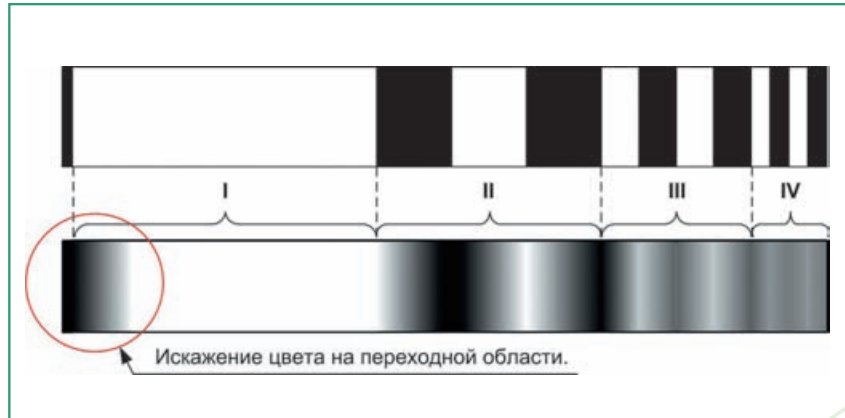
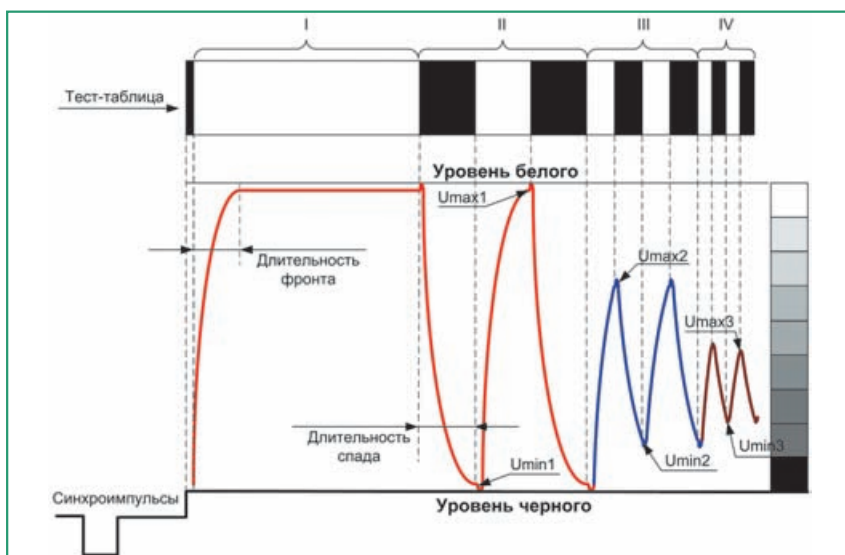


Рис. 3. Изображение тест-таблицы, получаемое на экране монитора

длительность импульса «с» значительно меньше импульса с длительностью «а», значит, и элемент изображения, передаваемый импульсом «с», значительно меньше, т.е. разрешение, необходимое для его воспроизведения, должно быть больше. Но разрешающую способность оборудования никто не определяет по длительности импульса, а используют другой способ, основанный на снижении модуляции (до выбранного критерия, обычно 0,1) при уменьшении ширины штрихов испытательной таблицы.

Обратимся к рисунку 2, на котором изображена тест-таблица с уменьшающейся шириной штрихов. Для наглядности дальнейшего пояснения происходящих процессов она разбита на четыре части – I, II, III и IV. Ниже тест-таблицы изображена осциллограмма одной строки видеосигнала, по которой мы постараемся разобраться, что же происходит с сигналом при уменьшении пространственных размеров объекта (полосы на тест-таблице) перед видеокамерой.

Пусть элемент изображения тест-таблицы на рисунке 2 (широкая белая полоса – I) в данный момент времени должен

быть выведен на экран монитора. Чтобы видеооборудование начало отображать его на мониторе, ему нужно затратить некоторое время (длительность фронта) для перехода из уровня черного к уровню белого. Аналогично, когда на тест-таблице заканчивается белая полоса – оборудованию нужно некоторое время (длительность спада), чтобы из уровня белого перейти к уровню черного. На переходных областях фронта и спада, т.е. когда сигнал находится в процессе перехода между белым и черным цветами, на экране монитора присутствуют несуществующие на тест-таблице цвета. Причем чем продолжительней переходный процесс, тем сильнее заметны искажения на границах смены цвета, выводимые на экран монитора – I (рис. 3).

Теперь допустим, что ширина черной и белой полосы на тест-таблице, при их пересчете относительно длительности строки видеосигнала (в наносекундах), равны длительности фронта (спада) оборудования – II (рис. 2). В этом случае сигнал достигает уровня черного (белого) в том момент, когда цвет тест-таблицы изменяется на белый (черный). В результате изображение на экране монитора (рис. 3) претерпело некоторые изменения относительно оригинала (тест-таблицы). Обратите внимание, что максимально черный (белый) цвет изображения занял место не точно под черной (белой) полосой тест-таблицы, а сместился к границе смены цвета. Это пространственное смещение изображения относительно оригинала для CCTV уже является искажением, и очень серьезным. Но при всем этом размах видеосигнала максимальный, а модуляция изображения равна:

$$M1 = (U_{max1} - U_{min1}) / (U_{max1} + U_{min1})$$

Уменьшим ширину штрихов на тест-таблице – III (рис. 2). В этом случае оборудование не успевает за длительность белой (черной) полосы на тест-таблице из черного цвета перейти в белый (черный). А в момент смены цвета на тест-таблице успевает дойти до светло-серого цвета, создавая модуляцию изображения $M2 = (U_{max2} - U_{min2}) / (U_{max2} + U_{min2})$. Уменьшение модуляции изображения хо-

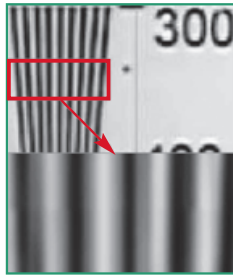


Рис. 4. Фрагмент изображения изображения тест-таблицы для аналоговой камеры

рошо видно на III (рис. 3) как отсутствие совершенно черных и белых тонов.

Еще уменьшив ширину штрихов на тест-таблице – IV (рис. 2). В результате размах сигнала уменьшился еще больше, а модуляция стала равна $M3 = (U_{max3} - U_{min3}) / (U_{max3} + U_{min3})$. Если полученная модуляция равна 0,1, то мы с вами определили предельную разрешающую способность оборудования, которая будет выражаться в количестве линий (белых и черных), укладываемых на всю ширину строки. Для получения размерности предельного разрешения в телевизионных линиях (ТВЛ) это количество линий нужно умножить на 0,75, если отношение сторон кадра равно 3/4.

Но обратите внимание на вид тест-таблицы – IV и на ее изображение на мониторе (рис. 3). Разве можно считать изображением то, что мы получили при модуляции $M3=0,1$? На мой взгляд, это уже не изображение тест-таблицы. Скорее всего, это искаженный до предела, как в тоновом, так и в пространственном отношении, сигнал.

Чтобы ни у кого не возникали сомнения в том, что приведенные выше рисунки – это просто иллюстрации и не имеют никакого отношения к реальной действительности, приведу фрагмент тест-таблицы

(рис. 4). Сравнивая увеличенный фрагмент тест-таблицы и рассматриваемый нами рисунок 3, даже не будучи специалистом, можно найти большое сходство.

Приведу формулировку разрешающей способности из [2]: «1.1.18. Разрешающая способность (разрешение) СОР – максимальная степень индивидуализации или детализации объекта контроля, которую может обеспечить система». Как мне кажется, эта формулировка не подходит для нашего случая. Да и выражения «индивидуализация» и «детализация» создают впечатление, что на экране монитора мы действительно увидим мельчайшие детали объекта. Для нашего случая гораздо правильнее было бы сказать так: «Предельная разрешающая способность СОР – это количество линий минимальных размеров, изображения которых относительно оригинала искажено в цветопередаче на 90%».

Эта формулировка не вводит читателя в заблуждение, будто он увидит мельчайшие детали объекта, она акцентирует внимание именно на том, какие детали увидит наблюдатель и какую информацию они могут донести до наблюдателя.

Выше приведенные рассуждения заставляют задуматься, а разрешающую способность чего мы измеряем? Ведь изображение уже нет. Или оно искажено настолько сильно, что даже если мы его и увидим на мониторе, то оно скорее введет нас в заблуждение, чем даст правильную информацию о деталях объекта. И это только одна сторона медали. Стоит задуматься еще и о том, что тест-таблица имеет максимальную модуляцию, т.е. представляет собой абсолютно черные и белые полосы. И измеренная нами предельная разрешающая способность оборудования справедлива для объектов идеально белых и черных, т.е. с модуляцией, равной 1. А много ли в реальных сюжетах, которые камеры выводят на монитор, та-

ких элементов? В вечернее время кроме фонарей белого цвета на изображении нет вообще. Тогда что нам дает параметр «предельная разрешающая способность»? Кроме путаницы, никакой конструктивной информации, которую можно было бы использовать при проектировании, этот параметр не дает.

Чтобы как-то исправить такое положение, можно пойти путем изменения критерия по модуляции с 0,1 на любое другое значение. Но в результате мы получим характеристику разрешающей способности только для выбранного значения модуляции.

Поскольку эта проблема присуща не только CCTV, а любым системам, работающим с изображением, то целесообразно посмотреть, как ее решают в смежных с CCTV областях, а именно – в цифровой фотографии.

Прежде всего, в фотографии не используют параметр «разрешающая способность», выраженный в телевизионных линиях. Для широкого круга пользователей цифровыми фотоаппаратами применяют более простую характеристику, показывающую общее количество пикселей в ПЗС-матрице (например – 5 мегапикселей). Эта характеристика дает возможность обывателю легко сравнивать различные модели фотоаппаратов. Ведь количество пикселей в ПЗС-матрице однозначно характеризует ее разрешающую способность как степень дискретизации физической структуры. Для специалистов в фотографии существует более сложная зависимость, характеризующая разрешающую способность изображения, создаваемую оборудованием во всем возможном диапазоне модуляций. По этой характеристике опытный пользователь получает полный объем информации о фотоаппарате или объективе. Эта зависимость называется функцией передачи модуляции (ФПМ) [3]. Причем ФПМ в фотографии основной своей целью ставит показать, как оборудование ухудшает контраст исходного изображения, т.е. какие искажения в цветопередаче нужно ожидать на изображении. Разрешающая способность в фотографии обычно задается тремя значениями, для которых и строят графики ФПМ. В CCTV все наоборот. Всех интересуют предельные разрешения, а качество изображения уходит на второй, а то и третий план.

Но какая бы ни была совершенная зависимость, все равно гораздо удобнее, если характеристика оборудования приводится в виде одного числа. Очень удобно приводить разрешающую способность изображения при модуляции 0,5. Почему именно 0,5? Да потому, что этот уровень модуляции позволяет легко определить поведение ФПМ на всем протяжении пространственных частот тест-таблицы. Обратимся к рисунку 5, на котором приведены ФПМ двух устройств.

Их предельная разрешающая способ-

Рис. 5. Функция передачи модуляции двух устройств

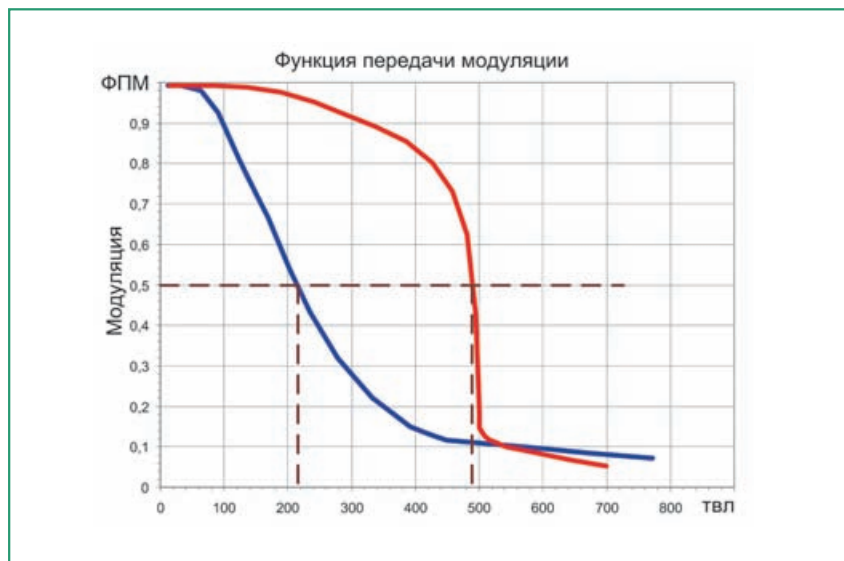




Рис. 6. Фрагмент изображения тест-таблицы для IP-камеры

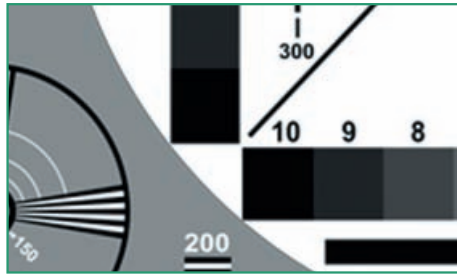


Рис. 7. Фрагмент оригинала тест-таблицы EIA Resolution Chart 1956

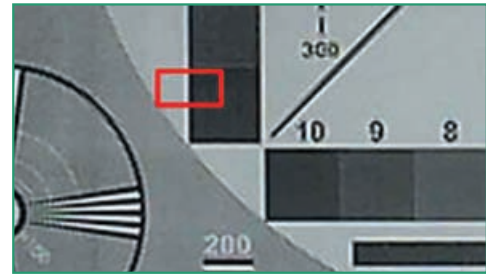


Рис. 8. Фрагмент изображения тест-таблицы EIA Resolution Chart 1956

ность при глубине модуляции 0,1 одинакова и равна 520-530 ТВЛ. И любой из нас, имея в распоряжении только информацию о предельной разрешающей способности, не отдал бы ни одному из этих устройств предпочтение. Но разве можно считать, что качество формируемого изображения у этих устройств будут одинаковые? Конечно же, нет. Устройство, график которого изображен, синей линией буквально с 50 ТВЛ (крупный объект на экране монитора) начинает искажать исходный контраст объекта, в то же время, устройство, график которого изображен красным цветом, вплоть до предельных значений разрешающей способности лишь незначительно снижает модуляцию до уровня 0,7.

Но, если бы мы имели в распоряжении информацию о разрешающей способности на уровне модуляции 0,5 (реальная разрешающая способность), любой бы из нас отдал предпочтение устройству, график ФПМ которого изображен красным цветом. Потому что в характеристиках на эти устройства был бы записан параметр реальной разрешающей способности в виде ФПМ(0,5)=220 ТВЛ и ФПМ(0,5)=490 ТВЛ.

Теперь давайте подойдем к разрешающей способности оборудования, которое использует различные способы искусственного увеличения резкости (разрешающей способности). Явными представителями, широко использующими этот способ, являются мегапиксельные и IP-камеры.

С появлением IP-камер вопрос об их разрешающей способности еще больше взволновал пользователей CCTV-сообщества. И действительно, на экране монитора картинка тест-таблицы от IP-камер выглядит значительно лучше, чем у аналоговых камер. На рисунке 6 приведен такой же пример, как и на рисунке 4, но для IP-камеры. Вертикальные черно-белые полосы великолепно различимы, и мы не наблюдаем никаких искажений в цветах, тем более пространственного их смещения. Но так ли это на самом деле? Если видекамера в IP-исполнении такая высококачественная, то почему же не выпускают эти «качественные» камеры в обычном, аналоговом, варианте? А не выпускают потому,

Рис. 9. Иллюстрация переходной характеристики для аналоговой камеры

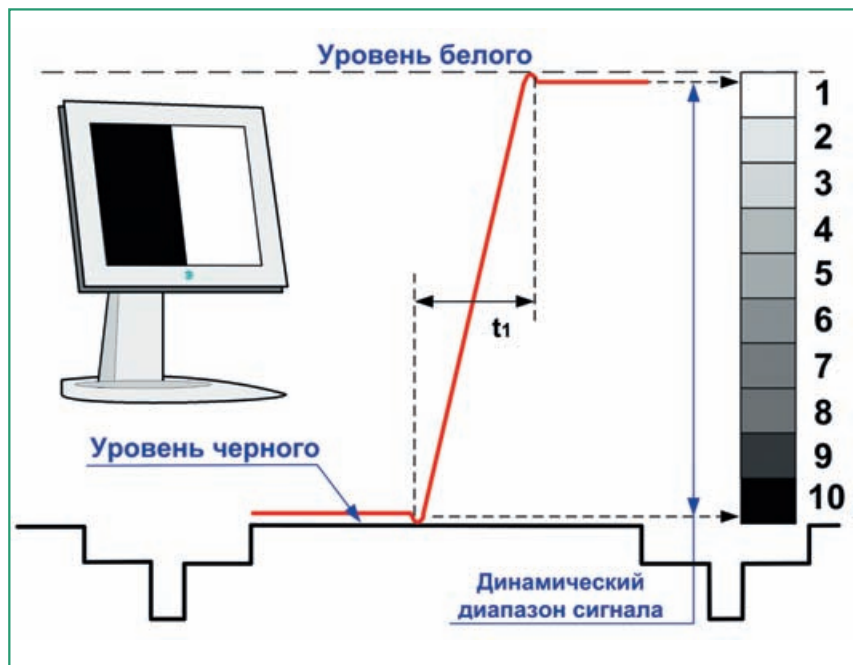
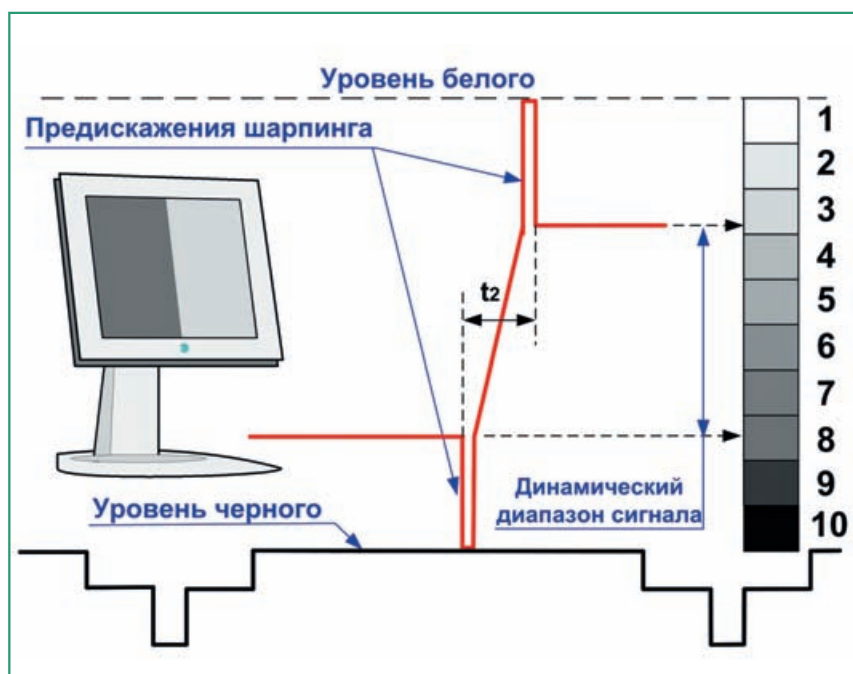


Рис. 10. Иллюстрация переходной характеристики для IP-камеры



что сами камеры ничем не отличаются друг от друга. В IP-камерах используются стандартные камеры, которыми мы в своей повседневной деятельности зачастую недовольны. А вот кажущиеся «высококачественными» картинки IP-камер – это не продукт, созданный видеокамерой, а результат специальной обработки, которая происходит в видеокамере. Такая обработка видеосигнала получила название «шарпинг».

Попробуем разобраться в этом с помощью тест-таблицы и изображений, которые пользователь видит на экране монитора. Фрагмент оригинала испытательной таблицы приведен на *рисунке 7*. Что мы видим на этом фрагменте? Во-первых, абсолютно белый фон, на котором в вертикальном и горизонтальном направлениях расположены самые темные элементы серой шкалы (8, 9, 10). Во-вторых, окружность с расходящимися от центра черно-белыми клиньями.

Основная задача видеокамеры и всего видеотракта – донести до нас, в виде изображения на мониторе, весь яркостной диапазон, присутствующий на тест-таблице. Это значит, что на мониторе мы должны увидеть такой же диапазон цветов от чисто-белого до насыщенного черного.

Для анализа изображения будем использовать такой же фрагмент тест-таблицы, но полученный с IP-камеры (*рис. 8*).

Что бросается в глаза? Во-первых, белый фон, на котором изображены элементы серой шкалы, превратился в серый. Белого цвета на тест-таблице не стало.

Во-вторых, черный цвет на серой шкале (10) превратился в темно-серый цвет.

В-третьих, окружность с расходящимися от центра черно-белыми клиньями сохранила белый и черный цвета на клиньях. Причем белые и черные клинья прорисованы четко и соответствуют высокому значению разрешающей способности. Каким образом могло произойти такое? Ведь белого и черного цвета нет даже на крупных элементах изображения тест-таблицы, которую вывела на монитор IP-камера.

Но, тем не менее, высокая различимость мелких элементов клина – это факт, и они достаточно черные и белые. Следовательно, увеличение разрешающей способности должно быть получено за счет снижения какого-то другого

параметра, связанного с разрешением.

Чтобы разобраться с этим, давайте проанализируем, каким образом такое могло произойти.

Возьмем аналоговую видеокамеру и направим ее на тест-таблицу, состоящую из двух цветов – белый и черный. В результате на мониторе получим изображение, как показано на *рисунке 9*. Процесс смены цвета с черного на белый изобразим на одной телевизионной строке как видеосигнал, изменяющий свое значение от уровня черного до уровня белого (красная линия). Собственными шумами будем пренебрегать. Весь диапазон градаций яркости от уровня белого до уровня черного разобьем на 10 полутонов, по аналогии с тест-таблицей на *рисунке 7*, и приведем их в правой части (*рис. 9*). Теперь мы видим, что видеосигнал от камеры имеет динамику по градациям яркости от насыщенного черного (10) до совершенно белого (1), а переход от одного цвета в другой занимает время t_1 . За этот промежуток времени (t_1) на экране монитора создается переходная область между белым и черным цветом. Чем больше время t_1 , тем толще переходная область на экране монитора и тем сильнее ощущение размытости контуров изображения или недостаточной разрешающей способности. Теперь возьмем IP-камеру и направим ее на ту же тест-таблицу, состоящую из черной и белой полосы. В результате на мониторе (*рис. 10*) насыщенный черный цвет пропал, а вместо него мы видим темно-серый цвет. Аналогично и с белым цветом, которого тоже нет на мониторе, а присутствует светло-серый.

В результате нашего эксперимента мы повторили ситуацию, которую рассматривали с тест-таблицей (*рис. 8*).

Теперь нам осталось разобраться, почему же такое происходит.

Нам хорошо известно, что для искусственного увеличения резкости в настоящее время широко используется технология шарпинга [1]. В ее основе положен способ, основанный на подчеркивании яркостных переходов со стороны светлых тонов в еще более светлые, а со стороны темных тонов – в еще более темные. Другими словами, шарпинг в видеосигнале создает предискажения в виде выбросов, как в сторону белого, так и в сторону черного (*рис. 10*). Но каким образом технология шарпинга может создать предискажения в видеосигнале, исходный размах которого и так простирается от уровня черного до уровня белого (*рис. 9*)? Ответ на этот вопрос достаточно тривиален. Технология шарпинга должна сузить динамический диапазон видеосигнала по градациям яркости. Это можно увидеть на *рисунке 10*. Если аналоговая видеокамера работала в диапазоне градаций яркости от 1 до 10

(по серой шкале справа на рисунке), то IP-камера, использующая шарпинг, может воспроизводить видеосигнал всего лишь в диапазоне градаций яркости от 3 до 8. Градации яркости от 1 до 2 и от 9 до 10 заняты предискажениями технологии шарпинга. В результате мы получили сужение динамического диапазона по градациям яркости. В нашем случае это приводит к тому, что яркие и темные элементы в видеосигнале будут отображаться на мониторе с искажением цветопередачи.

Для определения количественных значений проведем реальные измерения уровней яркости тест-таблицы (*рис. 8*), используя для этого Photoshop.

Напомню, что диапазон уровней яркости черно-белого изображения на экране монитора простирается от 0 до 255. Измерим значения минимальной и максимальной яркости на тест-таблице (*рис. 8*). Измерения проведем по градациям серой шкалы. В результате черный цвет на серой шкале имеет уровень 55 вместо 0, а белый – 189 вместо 255. Из этих не совсем корректных измерений мы видим, что 55% палитры, которой «прорисовывается» изображение, потеряны в угоду искусственному увеличению резкости – шарпингу.

Поскольку предискажения шарпинга присутствуют в видеосигнале (*рис. 10*), то мы их должны увидеть и на мониторе. Для этого обратимся к *рисунку 11*. В нижней его части изображен с сильным увеличением фрагмент тест-таблицы (*рис. 8*), выделенный красным прямоугольником, а в верхней части реальное изображение тест-таблицы. Как мы и говорили выше, черный цвет оригинала IP-камера заменила на темно-серый, а белый цвет на светло-серый. Но обратите внимание на переход между цветами. Он состоит из двух линий белого и черного цвета. Эти цвета как раз и предназначены для подчеркивания яркостного перехода в технологии шарпинга. Но, к сожалению, эти тона (насыщенный черный и чисто-белый) не будут присутствовать в палитре красок, которыми прорисовывается изображение, выводимое на монитор. Но зато появилось ощущение повышенной резкости изображения за счет значительного уменьшения переходной области $t_2 < t_1$. И это соотношение можно еще увеличить, если увеличить амплитуду импульсов предискажения шарпинга.

Ну а что же с черно-белыми клиньями (*рис. 8*), о которых мы говорили выше? Почему же там есть и белый и черный цвета? Ответ достаточно прост. Если реальные размеры элементов тест-таблицы очень маленькие, что в пересчете на их длительность в строке видеосигнала составляют длительность, близкую к длительности предискажений шарпинга, то шарпинг просто сам «рисует» эти элементы.

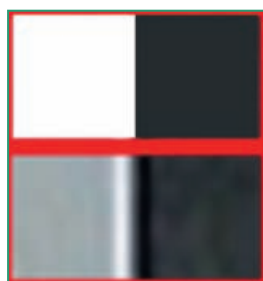


Рис. 11. Черно-белые полосы на яркостном переходе

