

Моделирование человеческого зрения для объективной оценки качества изображения

*Грег Хоффман,
Tektronix*

В современных видеосистемах определяющим параметром является качество изображения. На каждом этапе, от создания видеоконтента до его отображения на экране конечного потребителя, множество устройств и технологий становятся на пути между качественным и искаженным изображениями. Первыми за дело берутся кодеры и декодеры – первые выполняют сжатие файла до приемлемых размеров, а вторые – восстановление их в исходное состояние. Затем в игру вступают преобразователи формата, которые изменяют разрешение и отношение сторон, другие устройства и тракты передачи вносят свой вклад в виде шумов и задержек.

В то же время, по мере перехода от аналоговых технологий передачи к цифровым и от стандартного разрешения к телевидению высокой четкости, потребители ожидают все более высокого качества изображения. Причем, в отличие от аналоговых видеосистем, в цифровых системах для оценки качества изображения уже нельзя опираться только на измерение параметров сигнала и мониторинг изображения. Профессионалам всех областей – от разработки оборудования до распределения контента – нужны более мощные средства, которые позволили бы убедиться, что системы или процессы не вносят искажений в видеоконтент и не влияют на воспринимаемое качество изображения.

В частности, назрела необходимость замены дорогого и потенциально противоречивого подхода, широко распространенного в настоящее время. Один из перспективных подходов заключается в том, чтобы наделить прибор возможностью восприятия качества изображения, близкого к субъективному восприятию человеческим глазом. Такой подход позволяет более точно и с высокой степенью повторя-

емости результатов оценивать качество изображения в соответствии с его субъективным восприятием человеком. В результате разработчики видеосистем, а также создатели и распространители видеоконтента получают мощного союзника в борьбе за качество изображения.

Субъективная оценка и объективное измерение качества изображения

Субъективная оценка, как бы она ни выполнялась – в соответствии с требованиями стандарта ITU-R BT.500 или неформально, на глаз, – требует много времени, ресурсов и средств. Причем даже в лучших условиях она не всегда дает схожие результаты. С одной стороны, глаз эксперта может заметить дефекты, невидимые среднему зрителю, что порождает дорогостоящие попытки устранения незначительных проблем. С другой стороны, эксперты могут устать и пропустить существенные дефекты.

К тому же, если субъективная оценка все же применяется, большинство специалистов прибегают к ней только в очень редких случаях на ответственных этапах проекта. Они не могут использовать эти методы для частых, регулярных измерений качества изображения с целью диагностики проблем, оптимизации конструкции или производительности изделия, а также для тщательной проверки устройства, системы или контента.

В результате разработчики, ремонтные службы и отделы контроля качества все чаще обращаются к использованию приборов, позволяющих объективно измерять качество изображения. Существует три основных группы объективных измерений качества изображения: с полным сравнением, с сокращенным сравнением и без сравнения.

При измерениях с полным сравнением эталонное изображение сравнивается с исследуемым. В общем случае исследуемое изображение является обработанной версией эталонного изображения, причем в результате обработки возникают различия между исследуемым и эталонным изображениями. Измерения без сравнения выполняются только на исследуемом изображении. Измерения с сокращенным сравнением опираются на оценку качества изображения по некоторым параметрам эталонного и исследуемого видеоматериала, а не путем попиксельного сравнения.

Объективное измерение качества изображения с полным сравнением наиболее точно соответствует субъективной оценке. Там где это возможно, инженеры должны использовать именно этот, наиболее корректный метод измерения.

Общий подход к объективной оценке качества изображения опирается на измерение шума, во время которых сравнивается шум или ошибки в исследуемом и эталонном видеоматериале. Чаще всего в этой категории измерений используется измерение отношения пикового значения сигнала к шуму (PSNR). Измерение PSNR полезно для диагностики дефектов, возникающих в схемах и программах обработки видеоизображения. К тому же, измерение значения PSNR дает общую картину изменения качества изображения. Однако измерения PSNR не в полной мере соответствуют субъективной оценке качества изображения зрителем.

Эта проблема иллюстрируется на рис. 1. На первом этапе измерения PSNR выполняется расчет среднеквадратической ошибки (MSE) между исследуемым и эталонным изображениями. Видеокадр, показанный на рис. 1.1, имеет большее значение MSE по отношению к исходному эталонному изображению, чем видеокадр на рис. 1.2.



Рис. 1.1. MSE=27,10



Рис. 1.2. MSE=21,26

Рис. 1. Кадр с меньшей среднеквадратической ошибкой имеет худшее качество изображения

Но ошибка на рис. 1.1 имеет более высокую пространственную частоту, тогда как ошибка на рис. 1.2 состоит из блоков со значительно меньшей пространственной частотой. Человеческий глаз более чувствителен к низким пространственным частотам (рис. 1.2) и менее чувствителен к высоким пространственным частотам (рис. 1.1).

В результате изображение на рис. 1.2 выглядит хуже изображения на рис. 1.1, хотя значения PSNR говорят о том, что худшим должно быть как раз изображение на рис. 1.1. Этот пример показывает, что человеческое восприятие не эквивалентно простому детектору шумов. Для получения результатов, соответствующих субъективной оценке, необходимо делать поправки, учитывающие особенности человеческого восприятия.

Применение моделей человеческого зрения для объективной оценки

При более совершенных измерениях, основанных на особенностях субъективного восприятия, для сравнения исследуемого и эталонного изображения используются модели человеческого зрения. Дополнительная обработка позволяет учесть некоторые другие особенности восприятия. Как показано на рис. 2, они включают отношение между воспринимаемой контрастностью и яркостью и некоторые маскирующие особенности человеческого зрения. Затем выполняется расчет воспринимаемой разности контрастностей эталонного и исследуемого видеоматериала, а не просто разности шумов.

Определяемая этой процедурой воспринимаемая разность контрастностей непосредственно служит для оценки качества изображения на основе субъек-

тивного восприятия. При использовании точной модели человеческого зрения оценка качества изображения на основе воспринимаемой контрастности соответствует субъективной оценке зрителя.

Теперь давайте подробнее рассмотрим ключевые концепции, лежащие в основе этого нового подхода к объективному тестированию, на примере метода субъективной оценки качества изображения, примененного в приборе Tektronix PQA500, в котором для оценки качества изображения применяется модель человеческого зрения.

Контрастность и воспринимаемая контрастность

При оценке качества изображения зрители должны различать объекты изображения и обнаруживать дефекты. Контрастность является визуальной характеристикой, отличающей объекты друг от друга и от фона.

Однако преобладающей характеристикой для человеческого восприятия является яркость. Поэтому воспринимаемая контрастность сильнее всего связана с контрастом яркости. В разных ситуациях используются разные опреде-

ления контраста яркости, но все они выражаются отношением разности яркостей к средней яркости. Контрастность выражается в процентах.

Яркость является фотометрической характеристикой силы света. Однако система человеческого зрения действует не так, как измеритель яркости. Самое главное, что способность людей к восприятию разности яркостей, то есть их чувствительность к контрастности, зависит от распределения яркости в пространстве и во времени. Модель человеческого зрения, используемая для объективного измерения качества изображения, должна точно воспроизводить пространственную и временную зависимость чувствительности к воспринимаемой контрастности.

Чувствительность к воспринимаемой контрастности

Исследования показали, что система человеческого зрения обладает полосовой чувствительностью к пространственным и временным изменениям контрастности. Эти функции чувствительности к контрастности определялись с помощью дифракционных решеток, создающих изображение в виде чередующихся светлых и темных полос.

По отношению к пространственным частотам, при умеренно низких уровнях яркости и малых или нулевых временных изменениях, система человеческого зрения обладает максимальной чувствительностью к изменениям контрастности с частотой примерно 4 периода на градус (cpd) с частотой среза около 60 cpd (см. красную кривую на рис. 3.1). По отношению к временным частотам, при умеренно низких уровнях яркости и малых или нулевых пространственных изменениях, система человеческого зрения обладает максимальной чувствительностью к изменениям контрастности с частотой примерно 8 Гц с частотой среза около 50 Гц (см. красную кривую на рис. 3.2).

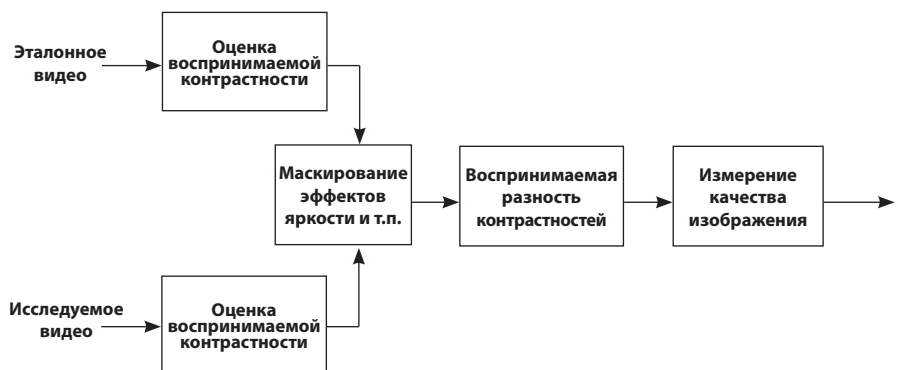


Рис. 2. Объективная оценка качества изображения на основе человеческого восприятия

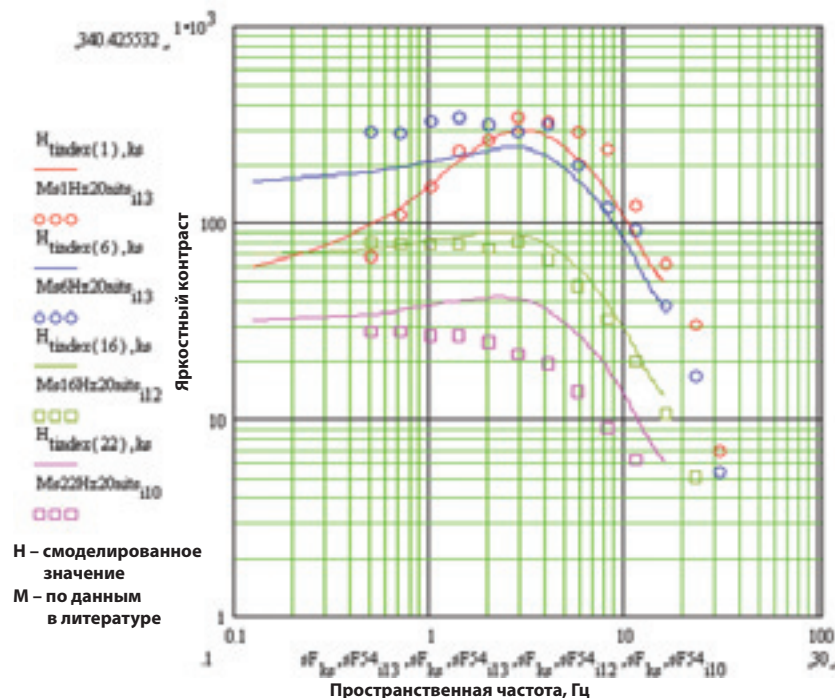


Рис. 3.1. Чувствительность к пространственной частоте

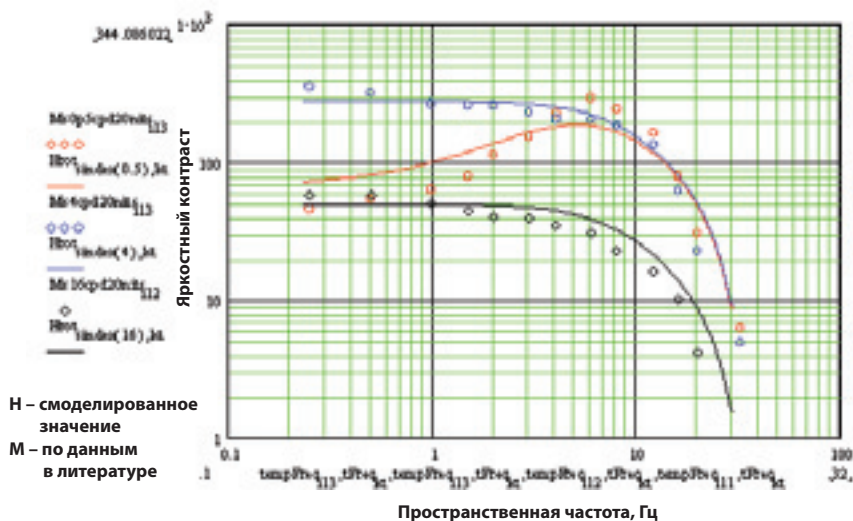


Рис. 3.2. Чувствительность к временной частоте

Рис. 3. Частотная зависимость чувствительности к пространственным и временным изменениям контрастности

Графики на рис. 3 демонстрируют еще одно важное свойство – чувствительность системы человеческого зрения к пространственным изменениям контрастности зависит от временных изменений (рис. 3.1). Аналогичным образом, чувствительность системы человеческого зрения к временным изменениям контрастности зависит от пространственных изменений (рис. 3.2).

Такие характеристики возникают потому, что система человеческого зрения комбинирует информацию центрального канала с информацией периферийного канала. Оба канала, по отношению к визуальному воздействию, имеют характеристику фильтра нижних частот. Однако периферийный канал имеет более низкую частоту среза. В процессе создания результи-

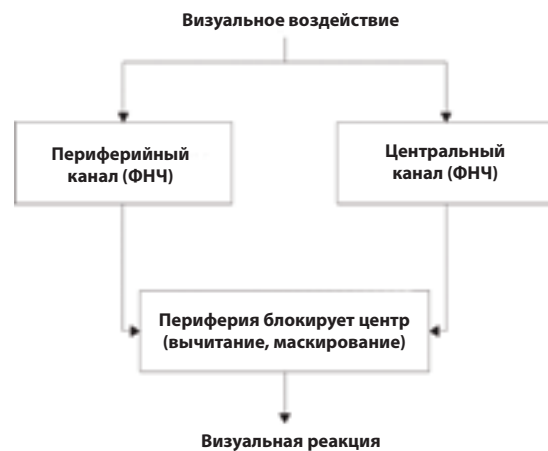



Рис. 4. Центральный и периферийный каналы системы человеческого зрения

рующего отклика периферийный канал блокирует отклик центрального канала за счет вычитания и маскирования (см. рис. 4). Это подавляет содержащиеся в визуальном воздействии низкочастотные компоненты, улучшая возможность человеческого зрения распознавать границы, отдельные объекты и мелкие детали. Кроме того, это формирует типовую характеристику полосового фильтра, наблюдаемую в графиках чувствительности к контрастности.

Модели человеческого зрения с фиксированной пространственной и временной фильтрацией не регистрируют эти и многие другие сложные взаимосвязи, присущие человеческому зрению. Эксперименты с адаптивными фильтрами показали, что они успешно моделируют эти взаимосвязи и достаточно хорошо согласуются с реальными результатами, полученными в ходе исследований человеческого зрения. В модели системы человеческого зрения, применяемой в Tektronix PQA500, используются адаптивные фильтры. Реакция этой модели (сплошные линии на рис. 3.1 и 3.2) соответствует данным, полученным от зрителей (квадратики на рис. 3.1 и 3.2)

Окончание следует



Телесуфлеры VSS:
простота и универсальность;
широкий модельный ряд: студийные VSS-17, VSS-19,
внестудийные VSS-10A, VSS-10B/B2, презентационные (напольные) VSS-20;
богатый ассортимент: два варианта ПО, педали и манипуляторы
для управления, удлинители VGA, пьедесталы и пр.

65007, Украина, Одесса, ул. Мечникова 132, тел./факс: +380 048 715 12 97, e-mail: info@vsgp.com

