

Моделирование человеческого зрения для объективной оценки качества изображения

Грег Хоффман,
Tektronix

Окончание. Начало в №7/2010
В первой части статьи рассматривались проблемы, связанные с объективной и субъективной оценкой качества изображения, в частности, вопросы контрастности и воспринимаемой контрастности. Ниже приводится окончание статьи.

Оптические иллюзии

Сложные взаимодействия, присутствующие в системе человеческого зрения, приводят к возникновению нелинейных эффектов, порождающих оптические иллюзии. Хорошо известны следующие иллюзии:

- ◆ остаточные изображения: остаточное или фантомное изображение, которое продолжает наблюдаться после того, как исходное изображение уже исчезло;
- ◆ иллюзия удвоенной частоты: видимое удвоение пространственной частоты при быстрой модуляции дифракционной решетки во временной противофазе;
- ◆ иллюзия фантомного импульса: наблюдатель видит последовательные вспышки. Время между вспышками уменьшается, пока не будет заметна только одна вспышка.

Оптические иллюзии являются причиной различного восприятия изображения разными зрителями в ходе субъективной оценки. Например, остаточное изображение может вызвать маскирующий эффект. Зрители, наблюдающие остаточное изображение от предыдущего визуального воздействия, отчасти теряют способность распознавания деталей нового изображения. Объективные измерения качества изображения должны учитывать оптические иллюзии. Кроме того, оптические

иллюзии полезны для испытания моделей системы человеческого зрения. Если входные данные модели соответствуют условиям возникновения оптической иллюзии, реакция модели должна близко соответствовать реакции человека на оптическую иллюзию. Применяемая в Tektronix PQ500 модель человеческого зрения способна моделировать оптические иллюзии и учитывать их воздействие.

Обнаружение воспринимаемой разности контрастностей

Хотя моделирование чувствительности к восприятию контрастности создает основу для объективного измерения качества изображения с полным сравнением, модель системы человеческого зрения должна учитывать также и некоторые другие факторы. Эти факторы включают закон Вебера, отклонения от закона Вебера, связанный с ним эффект Стивена и различные механизмы маскирования, влияющие на способность человека обнаруживать различия между эталонным и исследуемым изображениями.

Закон Вебера описывает взаимосвязь между разностью яркостей и яркостью окружающей области:

$$\Delta L/L=K,$$

где ΔL – разность яркостей, L – яркость.

Рис. 5 (нумерация рисунков продолжается из первой части статьи. Ред.) демонстрирует возрастающую сложность различения объектов по мере роста окружающей яркости. Обратите внимание, как затрудняется восприятие объектов на скатерти при увеличении уровня яркости. На самом деле, закон Вебера показывает, что в восприятии информации зрителем большую роль играет постоянная контрастность, а не постоянная яркость.

Эффект Стивена проявляется в том, что люди воспринимают изменения яркости, как видимое увеличение яркости. Модель системы человеческого зрения должна учитывать закон Вебера и эффект Стивена.

При умеренной или высокой контрастности, значительно превышающей порог восприятия контрастности (так называемая область сверхпорога), характеристика пространственно-временной чувствительность ста-



Рис. 5. Влияние яркости и контрастности на восприятие изображения

новится более плоской в диапазоне частот, чем на графиках, показанных на рис. 3 (№7/2010). Этот переход от порога к сверхпорогу связан с некоторыми более важными исключениями из закона Вебера. Таким образом, необходим механизм, который адаптировался бы не только к уровням яркости, но и к разным уровням контрастности.

На зрительное восприятие может оказывать воздействие и содержимое изображения. Воспринимаемую разность контрастностей значительно легче увидеть в областях с малыми пространственными изменениями, таких как небо или медленно движущаяся вода. Ту же разность контрастностей значительно труднее заметить, если она появляется в областях с сильными пространственными изменениями, таких как трава или листья деревьев. Модель системы человеческого зрения должна учитывать это маскирующее поведение.

Кроме того, модель должна учитывать порог восприятия по площади. Система человеческого зрения не воспринимает малую разность контрастностей в малой области, но воспринимает эту разность на большой поверхности.

Применяемая в Tektronix PQA500 модель человеческого зрения учитывает не только описанные эффекты, но и некоторые другие, включая маскирование шума и сходных элементов.

Карта воспринимаемой разности контрастностей

Модель системы человеческого зрения должна учитывать описанные выше факторы восприятия и точно моделировать пространственные и временные характеристики функций

чувствительности к воспринимаемой контрастности. В Tektronix PQA500 это делается путем преобразования данных, содержащихся в эталонном и исследуемом изображениях, в значения яркости, которые подаются затем на вход модели. Воспринимаемую контрастность эталонного и исследуемого видеоматериала можно определить путем соответствующего моделирования пространственной и временной чувствительности к контрастности с помощью адаптивной фильтрации.

После маскирования шумов воспринимаемая контрастность эталонных видеопикселей вычитается из соответствующих пикселей исследуемого видеоматериала. Это создает исходную версию карты воспринимаемой разности контрастностей путем записи воспринимаемых разностей контрастности в каждом пикселе каждого кадра исследуемого видеоматериала.

Последующий анализ, учитывающий закон Вебера, эффект Стивена, пространственный порог, маскирование изменений и другие эффекты, дает отдельные взвешенные значения для каждого пикселя каждого обработанного кадра. Эти взвешенные значения либо уменьшают, либо увеличивают воспринимаемую разность контрастностей. Они применяются к исходной карте воспринимаемой разности контрастностей для создания окончательной карты воспринимаемой разности контрастностей, используемой для объективных измерений качества изображения на основе зрительного восприятия.

На рис. 6в показана карта воспринимаемой разности контрастностей, созданная на основе эталонного ви-

деоматериала. Воспринимаемые разности контрастности ярких пикселей изображения имеют более высокие абсолютные значения, чем воспринимаемые разности контрастности темных пикселей изображения.

Однако воспринимаемые разности контрастностей являются на самом деле знаковыми значениями. В некоторых случаях воспринимаемая контрастность эталонного видеоматериала может превышать воспринимаемую контрастность исследуемого видеоматериала. В других случаях ситуация может быть обратной. Эта информация показана на карте воспринимаемой разности контрастностей на рис. 6г. В этой версии карты пиксели с нулевой воспринимаемой разностью контрастностей выглядят нейтрально серыми. Пиксели с отрицательной воспринимаемой разностью контрастностей выглядят темными, а пиксели с положительной воспринимаемой разностью контрастностей выглядят светлыми.

Измерение качества изображения на основе визуального восприятия

После создания карты воспринимаемой разности контрастностей выполняется преобразование этой информации в коэффициент качества изображения (PQR) и в показатель средней разности восприятия (DMOS) – в те же величины, которые используются при субъективной оценке качества изображения.

Для расчета объективных показателей качества изображения для каждого кадра исследуемого видеоматериала и для всего исследуемого видеоматериала в целом необходимо «свести» отдельные воспринимаемые разности контрастности для каж-

<p>ФОРВАРД Т Комплексная автоматизация телевизионного вещания</p>	<p>СТРИМИНГ Врезка рекламы и наложение титров в цифровом ТВ (MPTS)</p>	<p>ГОЛКИПЕР Система для многоканальной записи и замедленных повторов</p>	<p>ФОКУС Виртуальные студии и трехмерная графика реального времени</p>
<p>Расширение линейки продуктов ФорвардТ для цифрового вещания. Врезка рекламы и наложение титров в телевизионные программы, передаваемые в MPTS. Сохранение технологического процесса подготовки вещания при переходе с аналогового вещания на цифровое.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Собственное вещание и ретрансляция в/из IP и/или ASI • Простота конфигурации системы, использование шаблонов • Конвертация цифрового сигнала в аналоговый и обратно • Преобразование цифровых форматов ASI – IP, MPEG2 – AVC • Многоканальные решения, распределенная сетевая архитектура 			
<p>СофтЛаб-НСК, тел.: (383) 333-1067, 339-9220 факс: (383) 333-2173 www.softlab-nsk.com/rus/forward/index.html, forward@softlab-nsk.com</p>			

NATEXPO-2010
ВВЦ, павильон 75
зал № 1 стенд В48



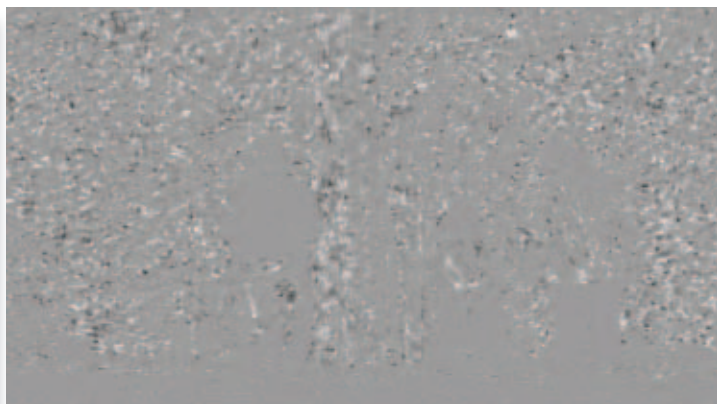
а – Эталон



б – Исследуемое изображение



в – Карта PCD без учета знака



г – Карта PCD с учетом знака

Рис. 6. Карта воспринимаемой разности контрастностей

дого пиксела. Возможные методы сведения включают усреднение воспринимаемых разностей контрастности пикселей видеокadra или расчет среднеквадратических значений (RMS). Эксперименты показали, что сведение этих значений с помощью более общего усреднения, часто называемого метрикой Минковского, дает лучшие результаты для оценки как PQR, так и DMOS.

Разработчики, ремонтные службы и отделы контроля качества могут применять эти объективные измерения качества изображения в широком диапазоне приложений. Примеры включают разработку и оптимизацию видеокодеков, квалификационные испытания видеооборудования, настройку видеосистем на оптимальное качество при минимальной полосе пропускания и проверку качества отремонтированного видеоконтента.

Показатель DMOS позволяет определить, как разность между эталонным и исследуемым видеоматериалом при наличии разного рода искажений и в различных условиях просмотра сказывается на субъектив-

ном восприятии качества. Показатель PQR помогает определить степень заметности разности между эталонным и исследуемым видеоматериалом, особенно в случае высококачественного видео, когда разности близки к порогу восприятия.

Заключение

В большинстве случаев разработчики, ремонтные службы и отделы контроля качества, которым приходится оценивать качество изображения, не могут тратить много времени и средств на услуги экспертов, настройку схем тестирования и последующие субъективные оценки. Им нужны быстрые, точные и воспроизводимые методы объективных измерений качества изображения. Однако для того чтобы такие методы приносили пользу, они должны максимально близко соответствовать субъективным оценкам.

Но зрители – это не детекторы шума. Они могут заметить некоторые отличия между эталонным и исследуемым видеоматериалом, но при этом упустить другие. Измере-

ние качества изображения с полным сравнением на основе определения одной только разности шумов между эталонным и исследуемым видеоматериалом не может учесть особенностей человеческого восприятия и, в результате, обладает сильными ограничениями.

Для измерения качества изображения с полным сравнением с учетом особенностей человеческого восприятия используется новый и совершенно иной подход. Применяя модель системы человеческого зрения, такие системы непосредственно рассчитывают воспринимаемую разность контрастностей между эталонным и исследуемым видеоматериалом. Они используют эти воспринимаемые разности контрастности для получения результатов, соответствующих субъективной оценке экспертов, что существенно снижает потребность в субъективных измерениях и дает профессионалам новый мощный инструмент для оценки качества изображения на этапах разработки оборудования, производства и доставки контента. ■