

Video Quality monitoring in digital TV networks

Pierre Bretillon, Jamal Baina and Gabriel Goudezeune
TDF-C2R

Внимание!

- Оригинал этой статьи находится на сайте по адресу:
http://www.ebu.ch/trev_home.html
- Данный перевод **НЕ** является официальной версией статьи и может содержать отдельные неточности.

Мониторинг качества видео в цифровых телевизионных сетях

DTV услуги быстро развились в последние несколько лет, основываясь на достижениях в технологии цифрового сжатия сигнала. Однако, QoS проблемы - которые являются часто наиболее критическим параметром для оценки в DTV системе - не развивались в таком же темпе. Чтобы гарантировать обеспечение качества обслуживания конечного пользователя, существует срочная потребность развития соответствующих методов и инструментальных средств.

В этой статье предлагается эталонная модель, которая является универсальной структурой для описания любого автоматического метода оценки качества видео. Проблема контроля качества видео адресована к DTV сетям, и представлен эффективный метод контроля QoS. Этот метод осуществлен и проверен в диапазоне ситуаций, как на имитируемой, так и на реальной DVB вещательных сетях.

1. Введение

Цифровые телевизионные системы обеспечивают беспрецедентный уровень гибкости. Как недостаток, каждый системный элемент может влиять на воспринимаемое качество видео, внося специфические ухудшения, которые воздействуют на декодированные сигналы. Эти ухудшения попадают в одну из двух категорий. Во-первых, MPEG-2 сжатие - как нелинейный процесс с потерями - по существу ведет к качеству

кодирования, зависимо от контента аудио и видео. Во-вторых, цифровые передающие системы генерируют бинарные ошибки, когда достигнут порог автоматического исправления.

Воздействие цифровых ухудшений на качество сигнала не может быть предсказано просто битовым потоком кодирования. Действительно, контент изображения, работа приемника и процесс декодирования (например, стратегия маскирования ошибки) могут иметь сильное влияние. Следовательно, обычные "ориентируемые провайдером" параметры уровня битовых потоков - типа битового или пакетного коэффициента ошибок - являются неадекватными для контроля качества сигнала в цифровых системах. Должны использоваться специфические дополнительные методы, чтобы измерить воспринимаемое качество.

Много объективных (автоматических) методов оценки аудио - и видео качества было предложено, с целью предсказания уровня качества создаваемого на устройствах наблюдения при субъективных методах. В этой статье, мы более определенно адресуем качество видео, которое, мы верим, будет важным компонентом QoS. Мы предлагаем универсальную модель для производственного контроля качества видео. Эта модель была представлена для стандартизации и предназначена, чтобы служить как инструмент структурирования в отрасли. Вторая часть статьи представляет эффективный метод оценки качества видео, разработанный TDF-C2R, применимый к DTV сетям. Этот метод был проверен в различных приложениях. Мы будем более определенно адресовать контроль DTV сетей в реальном времени.

2. Стратегии измерения

Большинство методов оценки качества видео полагается на измерении искажения при сравнении входа и выхода ТВ системы. Эта конфигурация требует некоторой информации о входном (эталонном) изображении, которую необходимо перенести совместно с нормальными сигналами видео к удаленной точке измерения через вещательную сеть. Естественно, количество эталонной информации, которое переносится наряду с нормальным видео должно быть минимизировано. Применяются три стратегии измерения, в зависимости от области приложения и требований [1] [2].

1) Стратегия 1

Подход с *полным эталоном* требует доступности видео как эталонного изображения, так и поврежденного декодированного изображения. Качественная оценка основана на измерениях искажений на уровне пикселей. Однако, в отличие от SNR, эти измерения объединены в комплекс с моделями человеческой визуальной системы, и/или априорными знаниями ухудшений, с целью правильного обеспечения оценки качества, коррелированной с субъективной оценкой на устройствах просмотра.

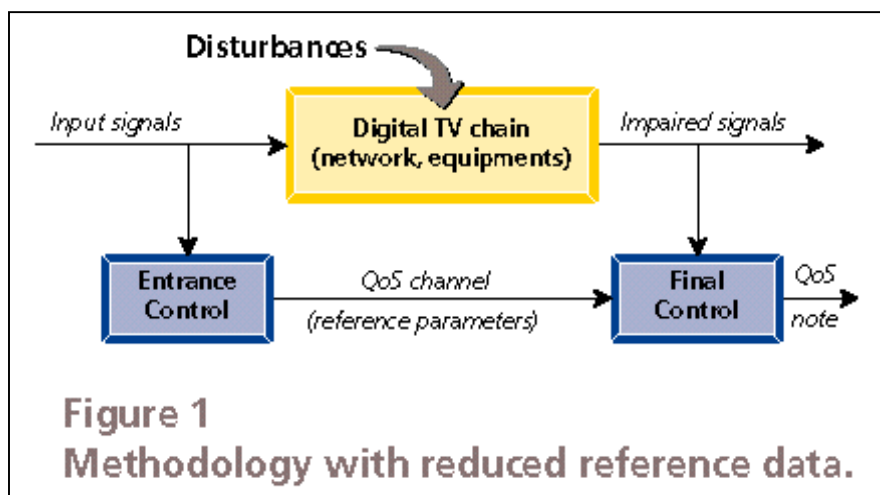
Недостаток состоит в том, что эталонное видео должно быть передано с полной шириной полосы, т.е. несколько Мбит/с на программу, что приведет к значительным затратам ширины полосы и к усложнению обработки. Наконец, необходима точная пространственная и временная синхронизация эталонного и повреждаемого изображения на уровне пикселей. Хотя эти условия могут быть, в конечном счете, выполнены в процессе лабораторных испытаний, они не реалистичны для производственных операций и для использования повсюду в DTV сети - без применения сильного сжатия и/или под-выборки эталонных данных. Ясно, что компромисс между стоимостью и рабочими характеристиками является недостатком этой первой стратегии.

2) Стратегия 2

Вторая стратегия - подход с *уменьшенным эталоном* (рис. 1). Методы оценки качества полагаются на измерении искажений только для маленького набора параметров, вместо использования каждого пикселя. Эти параметры предназначены для того, чтобы вычленить специфические ухудшения, наблюдаемые в DTV изображениях.

Параметры обрабатываются на входе в DTV цепочку (входной контроль) и в каждой точке измерения (выходной контроль). Линейная комбинация искажений обычно обеспечивает финальную объективную оценку качества. Комбинация модели настроена так, чтобы максимизировать корреляцию с субъективными испытательными результатами [3].

Эта стратегия может обеспечивать результаты менее точные, чем один полный эталон. Однако, это дает преимущество размежевания прозрачности линий передач, используя очень низкоскоростную линию порядка 10 кбит/сек для эталонных



данных. Дополнительно, сложность обработки ниже, делая возможной работу в реальном масштабе времени. Следовательно, эта вторая стратегия хорошо приспособлена для автоматического и непрерывного контроля качества сигнала на DTV сетях.

3) Стратегия 3

Третий класс работает *без эталонной* информации, передаваемой от входа до точки измерения. Вместо этого, эта стратегия сосредотачивается на измерении наиболее характерных ухудшений DTV - обычно блок-эффекты, сгенерированные оборудованием кодирования [4] [5]. Таким образом, оценка "качества" весьма ограничена только этими немногими ухудшениями. Эта стратегия не может использоваться для проверки качества принимаемых сигналов, когда недоступно никакое эталонное видео. Ее преимущество - относительно простое исполнение.

3. Универсальная модель

Разнообразие доступных методов оценки качества делает трудным сравнение их соответствующих проектов. Однако, универсальная модель - в пределах структуры ITU-R JWP 10/11Q - теперь предлагается. Она описывает общую структуру для методов измерения, чтобы добиться прогресса в стандартизации только одного метода измерения [6]. Эта универсальная модель предназначена для производственных приложений контроля качества видео в DTV сетях.

3.1. Общие концепции

Проект и развитие метрологии качества видео заставляют нас рассмотреть общую структуру процедуры измерения. Она включает несколько уровней:

- ⇒ **Методология измерения** определяет класс или стратегию относительно прикладных требований (см. Раздел 2);
- ⇒ **Метод измерения** составлен из набора модулей, осуществляющих обработку входов типа исходных сигналов, и обеспечивающих выходные результаты типа обработанных эталонных данных, уровня ухудшения или качественной оценки;
- ⇒ **Алгоритмический модуль** - базовый конструктивный блок функций обработки сигналов -- то, из чего составлен метод. Он включает ядро метода, который вырабатывает конечную объективную характеристику;
- ⇒ **Взаимодействующий модуль** - дополнительная функция, которая помогает алгоритмическим модулям в их операциях, адресуя такие проблемы как датирование, синхронизация, представление данных, и т.д.

3.2. Метод измерения

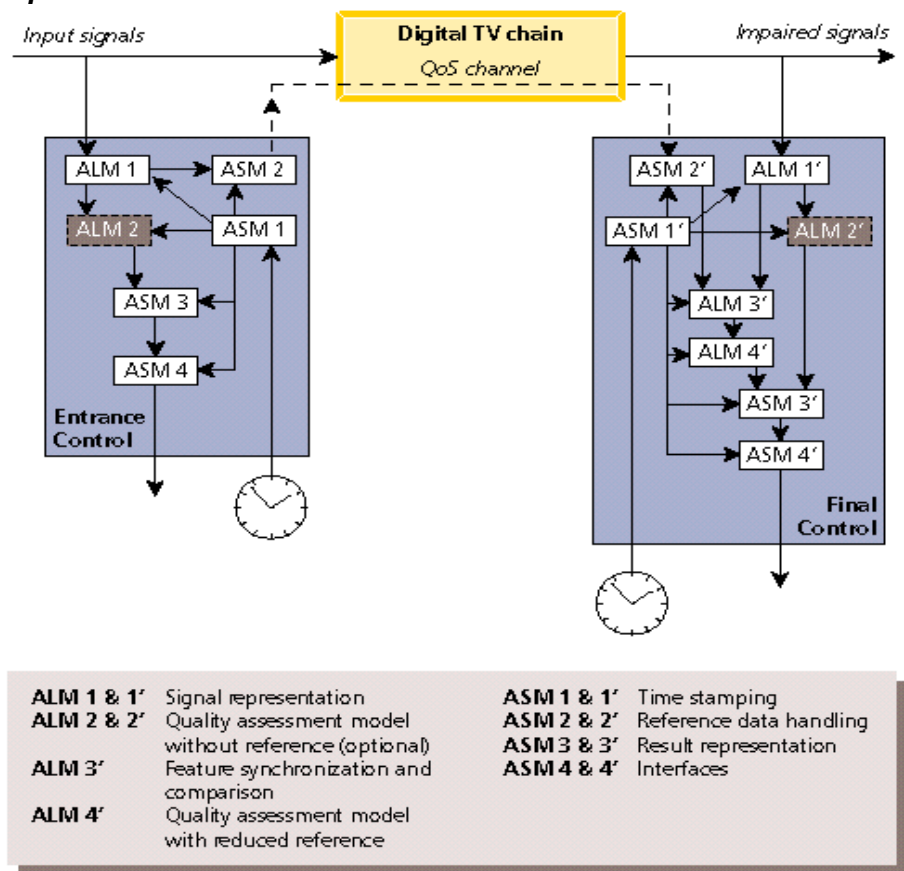


Figure 2
Detailed structure of the generic measurement method.

Рис. 2 Детальная структура универсального метода измерения

ALM 1 & 1' Сигнальное представление
 ALM 2 & 2' Модель оценки качества без эталона (опция)
 ALM 3' Элемент синхронизации и
 ACM 1 & 1' Отметка времени сравнения
 ALM 4' Модель оценки качества с пониженным эталоном

ACM 2 & 2' Обработка эталонных данных
 ACM 3 & 3' Представление результата
 ACM 4 & 4' Интерфейсы

Типичная конфигурация метода измерения показана на рис. 2.

Метод составлен из алгоритмических модулей (ALM) и взаимодействующих модулей (ACM). На диаграмме N указывает, что модуль расположен во входной контрольной точке измерения; N' указывает, что модуль расположен в конечной контрольной точке.

3.3. Алгоритмические модули

3.3.1. Сигнальное представление (ALM 1 и 1')

ALM 1&1' - модули, которые извлекают специфические особенности из сигнала. Это происходит во входном контроле [Entrance Control (EC)] или в выходном контроле [Final Control (FC)], в зависимости от положения точки измерения или от поддерживаемой методологии измерения. Последующие модули используют извлеченные особенности, чтобы обеспечить индикацию качества видео.

Сигнальное представление - одно преобразование или набор преобразований, приложенных к видео, чтобы изменить его представление из пиксельной оценки в другую область. Эта последняя область может быть новой матрицей преобразованных значений, или меньшего вектора особенностей. От того, как соответствующее сигнальное представление выбрано, зависит не только его познавательная уместность, но также и скорости передачи данных извлеченной информации, которая будет передана. Это представление будет передано от EC до FC в двух методологиях, которые обеспечивают некоторая форма эталонных данных (Стратегии 1 и 2 в Разделе 2).

3.3.2. Элемент синхронизации и сравнения (ALM 3')

В случае, если предложенный качественный метод оценки - сравнительный, тогда контроль одного или нескольких каналов связи в сети требует сравнения двух сигнальных представлений, используемых в различных точках. Этот процесс требует точной синхронизации между измерениями, сделанными во входной контрольной точке и в конечных контрольных точках. В этих концах используется информация о времени выборки каждого измерения.

После синхронизации, результат сравнения вычисляется на основе "выборка-к-выборке", "кадр-к-кадру" или "компонента-к-компоненте", в зависимости от сигнального представления (матрица или вектор). Амплитуда сигнала сравнения и его статистические свойства несут информацию о характеристиках сгенерированных искажений. Результаты дают представление о деградации между двумя последовательностями видео. Этот выход подается на следующий модуль, то есть на модель восприятия (ALM 4').

3.3.3. Модели оценки качества (ALM 2, 2' и 4')

Модели оценка качества ALM 2, 2' или 4' объединяют предварительно определенные особенности в единственную оценку качества. Так как несколько типов ухудшения могут происходить одновременно и влиять на субъективное решение, наиболее уместные измерения индивидуальных ухудшений должны использоваться совместно [7]. Поэтому комбинаторная модель организована так, как показано на рис. 3. Свойства ухудшения - результат из любого сигнального представления модулей (блоки ALM 2 и 2') или измерение искажений между двумя представлениями (блок ALM 4').

Несколько видов моделей могут быть осуществлено в этом модуле. Обычное решение - изучение подхода, которое состоит из двух фаз. Фаза изучения оптимизирует образцовое искажение между объективными особенностями и субъективной базой данных качества для большого набора последовательностей. Рабочая фаза использует модель, чтобы оценить качество. Наиболее обычная модель - линейная комбинация измерений индивидуальных ухудшения [8]. Другое расширенное изучение методов типа нервных сетей могут также использоваться [9].

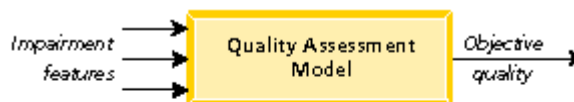


Figure 3
Synopsis of the quality assessment algorithmic module.

Методы изучения имеют большое преимущество, будучи просто и легко осуществляемыми, как только модель была обоснована. Общий недостаток состоит в том, что работа модели связана с правомерностью обучающих последовательностей, используемых обоснованной моделью.

3.4. Взаимодействующие модули

3.4.1. Отметки времени (АСМ 1 и 1')

АСМ 1 и 1' - управляют измерителями качества в точках измерения. Они обеспечивают временные метки для:

- ⇒ эталонных данных, обрабатываемых через QoS канала с модулями ввода и извлечения (соответственно АСМ 2 и 2');
- ⇒ QoS информации, передаваемой к системе наблюдения посредством АСМ 4 и 4'.

Информация отметок времени позволяет синхронизацию в АЛМ 3'. Операции успешно выполняются только тогда, когда в оборудовании ввода и вывода существует синхронизм, и оно готово выполнить сравнение параметров.

Модули временных отметок должны использовать общие унифицированные часы, восстанавливаемые повсюду в цепочке DTV сети. Один пример унифицированных временных опор – внутренние часы системного времени (system time clock – STC) в MPEG-2 [2].

3.4.2. Обработка эталонных данных (АСМ 2 и 2')

Чтобы сделать эталонную информацию сигнала доступной повсюду в цифровых телевизионных сетях, она должно быть передана конечным контрольным станциям. Для этой цели, устройства ввода и извлечения должны быть осуществлены как АСМ на входном и конечном пунктах измерений (АСМ 2 и 2' соответственно). Пример такого выполнения был предложен [10] [11] [12].

Одно из решений состоит в том, чтобы передать входные параметры в полосе цифровых ТВ программ, в пределах канала с заранее определенным QoS, мультимплексированного в транспортный поток MPEG-2. Скорость передачи данных, требуемая для передачи параметров должна быть порядка нескольких kbits/s, вполне возможна. Таким образом, параметры легко распространяются ко всем конечным контрольным точкам измерения [2]. Для этой цели, создание канала QoS было предложено и стандартизировано в пределах DVB структуры. DVB отредактировал рекомендации для использования специфического номера идентификации пакета

MPEG-2 (PID), зарезервированные за QoS каналом. Нескольким другим приложениям также позволено использовать этот канал QoS [13].

3.4.3. Представление результата (АСМ 3 и 3')

Модуль АСМ 3 необходим, чтобы обеспечить представление измерения: графические диаграммы, чертежи, и т.д. В зависимости от приложения требуются кратко - или долгосрочные статистические представления.

3.4.4. Интерфейсы (АСМ 4 и 4')

Назначение АСМ 4 состоит в подключении измерителя качества к системе наблюдения. Это позволит сбор информации о качестве для сетевого мониторинга. Достигнутый интерфейс, страницы HTML сервера с JAVA приложениями - одно возможное решение. Другое решение – в использовании SNMP агентств (Simple Network Management Protocol – простой протокол управления сетью связи), или удельных внешних Proxies [14].

4. Метод оценки качества

Стратегия 2 из Раздела 2 (то есть пониженный эталон) была выбрана в качестве методологии для мониторинга сети (рис. 1). Подход, разработанный TDF-C2R, полагается на оценку количества каждого типа ухудшения посредством специфической особенности. Особенности сравнения качества изображений основаны на наборе параметров, которые стремятся представить потерю или добавление контента изображения типичными для MPEG-2 тракта ухудшениями (блочность, потеря деталей, размытость, заморозка изображения). Эти параметры чувствительны как к пространственному, так и ко временному контенту видео. Дополнительно, они предназначались для того, чтобы позволить выполнение анализа видео в реальном масштабе времени, в ответ на случайность ошибки в передаче.

Модель оценки качества объединяет правомерность различных особенностей ухудшения видео для того, чтобы предсказывать глобальное качество. Наконец, процедура оптимизации, выполняемая с субъективными данными, используется для установки модели. Субъективные данные получены с устройства наблюдения согласно протоколу стандарта SSCQE [15].

Устройство, которое осуществляет метод, называется MAEVA (Model for AssEssment of Video and Audio quality – Модель для оценки качество видео и аудио). Входные параметры переданы в полосу с цифровой ТВ программы, в заранее определенном QoS канале, мультиплексированным в транспортный поток MPEG-2, как показано на рис. 4 [13]. Обработка входов и выходов оборудования синхронизирована, чтобы сравнивать параметры. Система маркирует все измерения специфическими временными метками, которые присутствуют в MPEG-2 потоке.

Измеритель качества позволяет нам оценивать качество видео в реальном времени. Это использовалось для оценки качества многочисленных последовательностей видео. Глобально, на 30-минутной видеопоследовательности, метод обеспечивает предсказанный средний счет мнений (predicted Mean Opinion Score – pMOS), который соответствует субъективной оценке качества MOS (см. рис. 5). Коэффициент линейной корреляции порядка 0.8 получен этим методом.

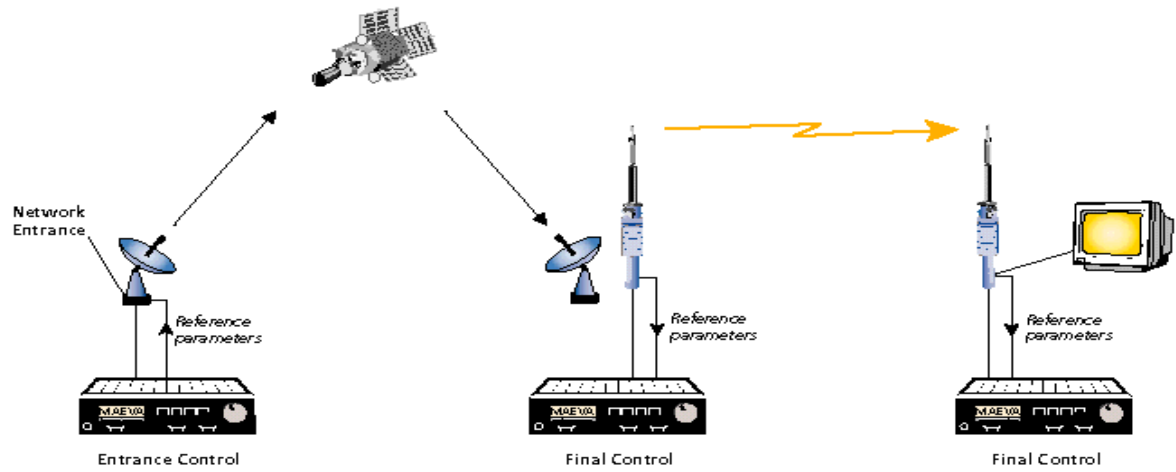


Figure 4
The quality assessment method applied to network monitoring.

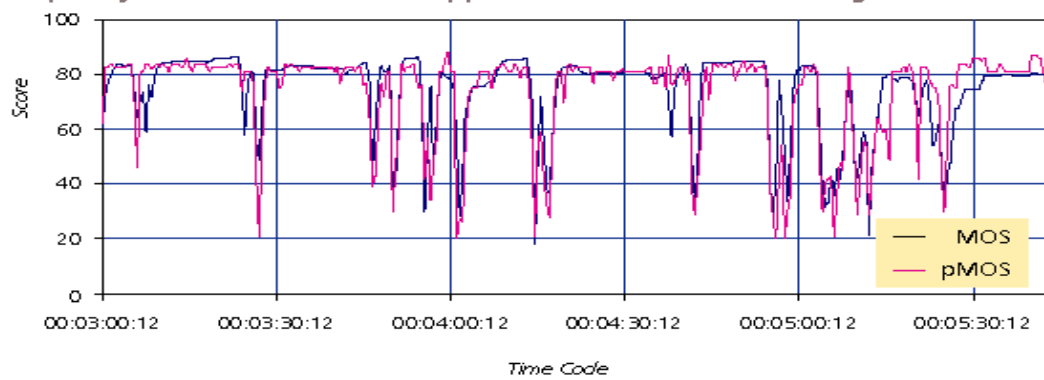


Figure 5
The objective (pMOS) and subjective (MOS) quality of a sequence affected by transmission errors.

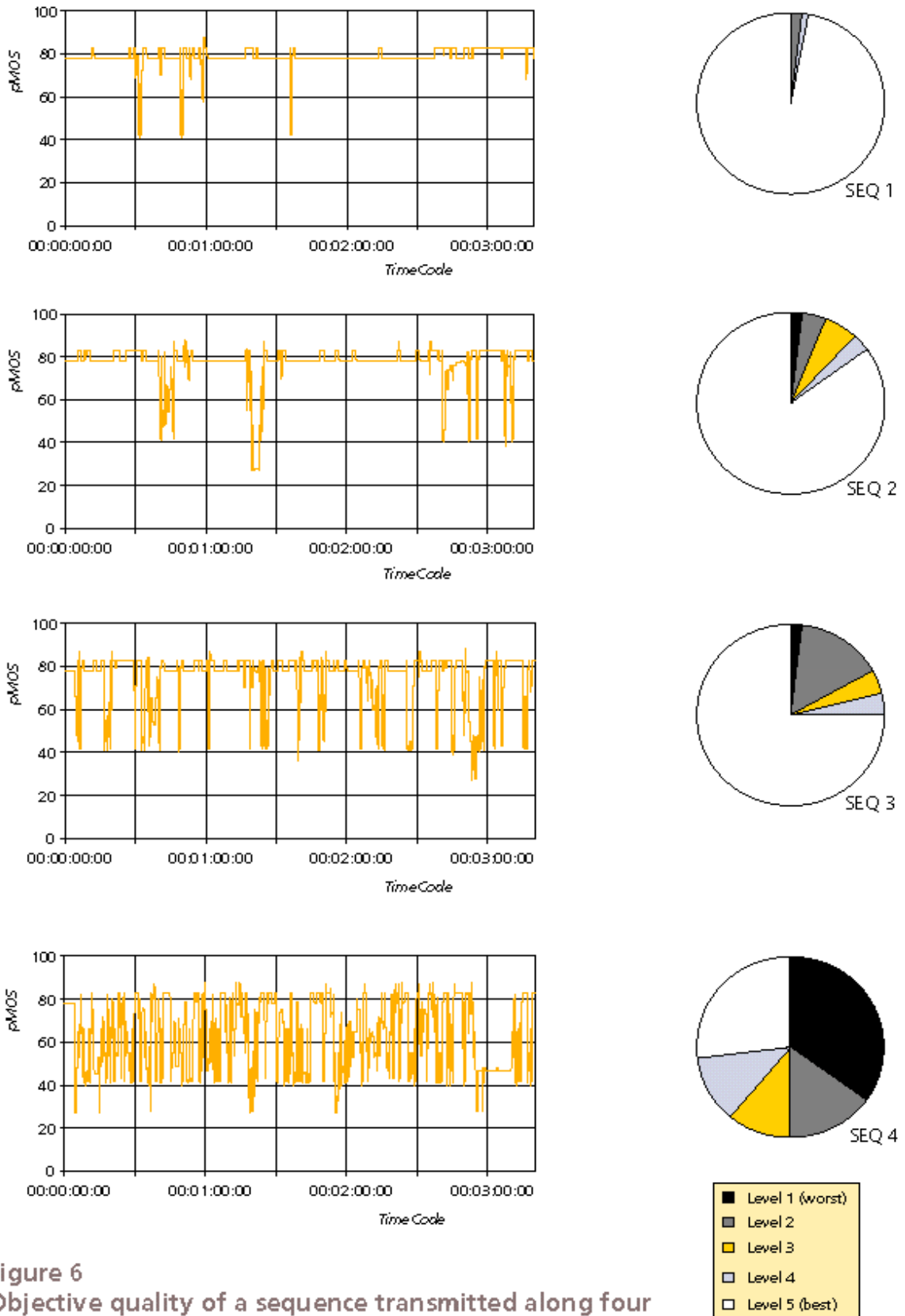


Figure 6
Objective quality of a sequence transmitted along four different DVB-S paths.

5. Мониторинг сети

Основное приложение для разработанного измерителя качества – сетевой мониторинг. В структуре пятых ACTS QUOVADIS и MOSQUITO было запроектировано проведение нескольких полевых испытаний, чтобы проверить правильность оборудования в широком диапазоне контента видео, условий передачи и сетевых конфигураций (DVB-T, DVB-S, DVB-C, и ATM в распределительной сети). Для каждого из этих испытаний, были сделаны измерения согласно конфигурации на рис. 1.

Рис. 6 (предыдущая страница) синтезирует результаты, полученные для 3-минутной последовательности, извлеченный из живой коммерческой программы, и переданный на линии спутниковой связи с QPSK модуляцией в четырех различных шумовых средах. Вариации в качестве в данный период времени, также как его распределение представлены в шкале с 5 градациями качества. В зависимости от условий передачи, влияние на воспринимаемое качество может изменяться в большом диапазоне. Особенности результирующего ухудшения и предсказанное качество мгновенно отображаются в сетевой точке измерения.

Измеритель качества также был развернут на широкой вещательной сети, чтобы проверить устройства, интегрированные в экспериментальную систему контрольного наблюдения, использующую SNMP протокол. Это дает нам возможность создать глобальное представление о рабочем состоянии сети. Система дала нам очень удовлетворительные результаты, показывая уместность контроля качества видео дополнительно с обычными параметрами на уровне потока битов. Сравнительный подход хорошо приспособлен, так как имеет умеренную техническую сложность, и сообщает нам относительно любого искажения в сети. Таким образом, он полезен и для вещателя, т.к. использует маленькую скорость передачи данных в транспортном потоке для пониженной эталонной информации, чтобы контролировать качество видео дистанционно.

Рис. 7а показывает использование измерителя качества для измерений в нескольких местах в пределах DVB-T вещательной области. В случаях, когда сеть контрольных

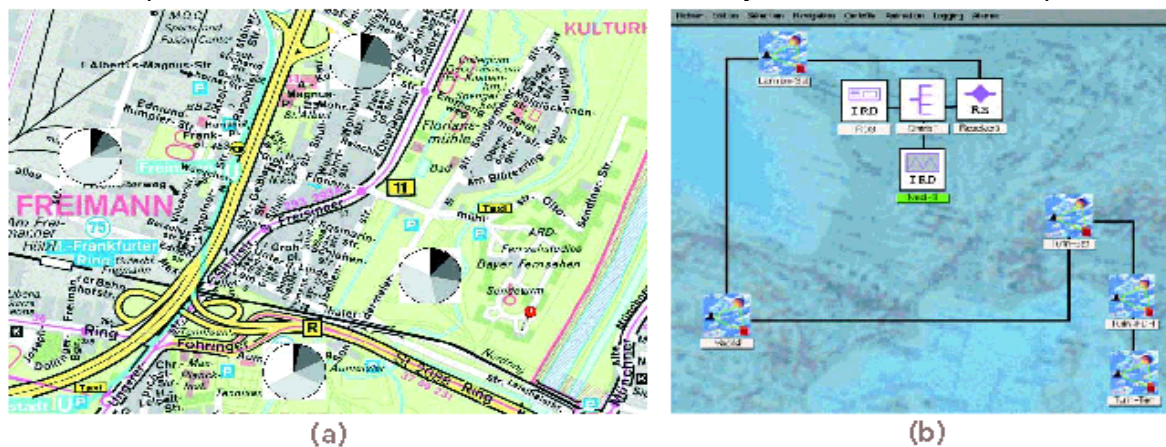


Figure 7
Quality monitoring at several locations (a), and the supervision display (b).

наблюдений уже существует, измерение качества может быть централизовано, чтобы сделать возможной эффективную глобальную систему мониторинга сети (рис. 7b).

Вне сетевого мониторинга измеритель качества успешно применялся в других приложениях. Одно из них использовало измеритель качества в течение кампании измерений для определения зоны охвата DVB-T сети. Уровень качества, вызванный передачей ошибок, был принят во внимание при определении зоны обслуживания.

6. Заключение

Некоторые методы из области исследований переходят в поле мониторинга качества видео. Несколько групп в пределах международных организаций стандартизации работают над этой темой. Действительно, поле сетевого мониторинга требует очень лаконичных и простых индикаторов качества. Мы предложили здесь универсальную модель по методам оценки качества видео для мониторинга DTV сетей. Эта модель в настоящее время изучается в ITU-R JWP 10/11Q. Надеемся, что наша инициатива встретит общее соглашение и одобрение этого универсального подхода, который хорошо приспособлен, чтобы охватить большой набор решений. Предложенный метод и универсальная структура могут быть расширены, чтобы описать измеритель качества аудио и видеосигналов, чтобы обеспечить глобальное аудиовизуальное обслуживание мониторинга: но это будет работа завтрашнего дня!

TDF-C2R разработал свой собственный измеритель качества как ответ на проблемы QoS для повышения сервиса DTV сети. Измеритель качества MAEVA - решение стратегии непрерывного измерения, основанное на "двустороннем с пониженным эталоном" подходе. Измеритель качества был проверен и одобрен в различных реальных вещательных сетевых приложениях и на нескольких типах сигналов. Выбор подхода с пониженным эталоном один из наиболее эффективных для наблюдения за сетью, поскольку он обеспечивает хороший обмен между сложностью и исполнением измерений.

7. Благодарности

Эта работа была частично поддержана Европейской Комиссией в структуре проектов ACTS QUOVADIS и MOSQUITO, с привлечением 14 различных партнеров: TDF-C2R (Prime Contractor), the EBU, IRT, Rohde & Schwarz, FUB, Teracom, Thomcast, Retevisiyn, Matra Communication, RAI, Alizee, CCETT, CTI and Optibase.

8. Библиография

- [1] **Methodologies For Video Quality Assessment On Networks In Operation**
ITU-T SG9 J. ovq, Temporary Document 36, April 1999.
Методологии для оценки качества видео в работе на сетях.
- [2] J. Bařna and G. Goudezeune: **Equipment and Strategies for Signal Quality Monitoring for Digital Television Networks**
Proceedings of SMPTE Journal, September 1999.
Оборудование и стратегии для мониторинга качества сигнала для цифровых телевизионных сетей
- [3] P. Brętilion, J. Bařna, M. Jourlin and G. Goudezeune: **Method for image quality monitoring on digital television networks**
SPIE, Vol. 3845, September 1999, pp. 298-305.
- [4] C. Derviaux et al.: **Blocking Artifact Reduction of DCT Coded Image Sequences using a Visually Adaptive Postprocessing**

Proceedings of IEEE Int. Conf. on Image Proc., ICIP'96, Lausanne, Vol. II, 1996, pp. 5-8.

- [5] V. Baroncini: **Single-ended objective video quality assessment**
International Workshop on Quality of Service for Digital Television, December 1999, Munich.
Односторонняя объективная оценка качества видео
- [6] **Method for in-service video quality monitoring over DTV broadcasting networks**
Contribution to ITU-R Joint Working Party 10-11 Q, Doc. R10-11 Q/057, 25 January 2000.
- [7] J.B. Martens and V. Kayargalde: **Image quality prediction in a multidimensional perceptual space**
Proceedings of IEEE Int. Conf. on Image Proc., ICIP'96, Lausanne, Vol. I, 1996, pp. 877-880.
- [8] A. Webster, C.T. Jones et al.: **An objective video quality assessment system based on human perception.**
SPIE, Vol. 1913, June 1993, pp. 15-26.
- [9] K. Kotani, M. Miyahara, **Objective Picture Quality Scale by Neural Networks**
Electronics and Communications in Japan, Part 1, Vol. 74, No. 2, 1991, pp. 19-27.
- [10] J. Lauterjung (Rohde & Schwarz): **The integration of a Quality-of-Service channel inserter and extractor in a test and measurement instrument**
International Workshop on Quality of Service for Digital Television, December 1999, Munich.
- [11] M. Veillard (CCETT) and O. Negru (THOMCAST): **Interoperability in a multi-application DVB MG measurement point**
International Workshop on Quality of Service for Digital Television, December 1999, Munich
- [12] P. Brétilon and J. Bařna: **Quality monitoring of broadcast audio and video signals**
International Workshop on Quality of Service for Digital Television, December 1999, Munich.
- [13] **Recommendation for the usage of a user defined signalling channel embedded in a MPEG-2 Transport Stream under the Packet Identifier PID 0x001D**
DVB Document, TM1957 Rev. 3, May 98.
- [14] J.L. Lipski: **SNMP applied to DTV network equipment supervision**
International Workshop on Quality of Service for Digital Television, December 1999, Munich.
- [15] ITU-R Recommendation BT.500-10: **Methodology for the subjective assessment of the quality of the television picture**

<http://www.itu.int/itudoc/itu-r/rec/bt/500-10.html>

Abbreviations

ACTS	Advanced Communications Technologies and Services	MOS	Mean Opinion Score
ALM	Algorithmic module	MOSQUITO	Management Of Service Quality In Television Operations
ASM	Associated module	MPEG	Moving Picture Experts Group
ATM	Asynchronous transfer mode	PID	(MPEG) Packet Identification Number
DTV	Digital television	pMOS	predicted Mean Opinion Score
DVB	Digital Video Broadcasting	QoS	Quality of service
DVB-C	DVB - Cable	QPSK	Quadrature (quaternary) phase-shift keying
DVB-S	DVB - Satellite	QUOVADIS	Quality Of Video and Audio for Digital television Services
DVB-T	DVB - Terrestrial	SNMP	Simple Network Management Protocol
EC	Entrance Control	SNR	Signal-to-noise ratio
FC	Final Control	SSCQE	Single-stimulus continuous quality evaluation
HTML	Hypertext markup language	STC	System time clock
ITU-R	International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector		
JWP	Joint Working Party		
MAEVA	Model for AssEssment of Video and Audio quality		