



EBU – TECH 3328

European Broadcasting Union

Европейский вещательный союз

Current Status of High Definition Television Delivery Technology

Внимание!

- Данный перевод **НЕ** претендует на аутентичность и может содержать отдельные неточности.
- Оригинал этого документа находится по адресу: <http://www.ebu.ch>

Текущее состояние технологии передачи сигналов телевидения высокой четкости

Источник: D/HDC

Состояние: Весна 2008

Женева
Май 2008

Содержание

Резюме	3
1. Системные вопросы	3
1.1 Форматы развертки HD	3
1.2 Варианты распространения	6
1.2.1 Широкополосные сети	6
1.2.2 Факторы, влияющие на скорость передачи битов при распространении ..	6
1.2.3 Спутниковая передача	6
1.2.4 Наземная передача	6
1.3 Лицензионная плата за MPEG-4-AVC.....	7
1.4 Интерактивные службы и телетекст	7
1.5 Динамическое переключение разрешения HD и SD	8
1.5.1 Динамическое переключение между SD и HD	8
1.5.2 Динамическое переключение разрешения и форматов HD	8
1.5.3 Динамическое переключение каналов и транспондеров	9
1.5.4 Сигнализация соотношения формата	9
2. Компрессия – текущее состояние	9
2.1 Текущие скорости передачи битов HDTV	9
3. Вопросы вещания	9
3.1 Производительность кодеров	9
3.1.1 Кодеры	9
3.1.2 Нынешнее качество H.264 по сравнению с MPEG-2	9
3.1.3 Проблемы задержки между аудио и видео	10
3.2 Рекомендуемые конфигурации	10
3.2.1 Качество для вещания	10
4. Защита контента в приемнике	10
5. Общие выводы по передаче HDTV	11
Приложение 1: Метод оценки 1 – Базовые принципы	12
Приложение 2: Метод оценки 2 – Базовые принципы	14
Приложение 3: Метод оценки 3 – Базовые принципы	16
Приложение 4: Элементы безопасности цифрового вещания HDTV	17
Элементы, определяющие безопасность вещания	17
Текущая ситуация в Европе	19

Текущее состояние технологии передачи сигналов телевидения высокой четкости

<i>Комитет EBU</i>	<i>Первый выпуск</i>	<i>Переработка</i>	<i>Переиздание</i>
DMC	2008		

Ключевые слова: HDTV, технология передачи

Резюме

В ближайшие годы всем членам EBU придется принять решения по системам для вещания или передачи сигналов HDTV другими средствами. Одним из элементов выбора будет скорость передачи битов для передачи сжатого видеосигнала HDTV. Это критический фактор, влияющий и на качество для зрителя, и на стоимость трансляции. Важно принять по этому вопросу осмысленное решение. Данный отчет призван обеспечить справочную информацию, необходимую для решения

Все HDTV вещание, планируемое сейчас в Европе, будет использовать видео компрессию MPEG-4-AVC, но дело не ограничится покупкой у поставщика кодера MPEG-4-AVC. Эффективность кодеров MPEG-4-AVC и, соответственно, качество, которое увидят зрители при данной скорости передачи, зависит от того, как сконструирован и реализован кодер. У разных производителей это по-разному, как и стоимость оборудования.

Философия семейства MPEG отчасти состоит в том, что производителям кодеров разрешено включать любые методы компрессии, при условии, что изображения будут всегда декодироваться стандартным декодером MPEG-4-AVC. Эта практика означает, что производители могут конкурировать между собой за лучшие продукты, и качество в целом повышается, а публика всегда может декодировать изображения

В этом отчете мы рассматриваем варианты для исходных форматов и для кодирования, а также, как все это повлияет на качество для зрителей. Работа проделана проектной группой EBU D/HDC, которая в 2007/8 гг. занималась оценкой образцов имеющихся кодеров HDTV MPEG-4-AVC. Группа D/HDC подготовила этот документ как справку для работы и место для общих выводов. Она также выработала вторую серию документов с результатами тестов кодеров определенных производителей. Эта серия, по одному тому на каждого производителя, доступна только членам EBU.

Отчет содержит, в трех приложениях, справочную информацию о методах оценки кодеков. В них использовалась компиляция тестового материала HDTV в различных форматах, доступная членам EBU. Отчет также включает в Приложении объяснение текущей ситуации в отношении вариантов защиты от копирования для приставок и приемников HDTV. Это сложная ситуация, и в Европе сегодня нет единого мнения о лучшей практике.

1. Системные вопросы

1.1 Форматы развертки HD

EBU идентифицировал и определил в документе EBU Tech 3299 **четыре формата для производства HDTV: 720p/50, 1080p/25, 1080i/25 и 1080p/50.** Форматы 1080i/25 и 720p/50 также могут использоваться для вещания или других форм вторичного распределения, а 1080p/25 сейчас применяется только для производства. Однако для распространения можно преобразовать 1080p/25 либо в 1080i/25 как 1080psf/25 (progressive segmented frame, psf), либо в 720p/50 путем пространственной конверсии в сочетании с повторением кадров. 1080p/50 называется HDTV форматом «3-го поколения» и по мнению некоторых вещателей может использоваться в будущем для производства, а возможно, и для распространения.

Исследования EBU предполагают, что если учитывать конечное качество для современного зрителя HDTV, то самым «качественно-эффективным¹» вещательным форматом на современных бытовых дисплеях HDTV является 720p/50. Формат 1080p/50 тоже соответственно качественно-эффективный и может сжиматься до скоростей, сопоставимых с 1080i/25. Для формата 1080i/25 технических преимуществ в сегодняшнем вещании не нашлось, хотя в прошлом они были в среде на базе ЭЛТ.

Почти все продаваемые сегодня в Европе дисплеи HDTV – матричные и требуют устранения чересстрочности входящих телесигналов. Поэтому для нынешних дисплеев HDTV естественным образом подхо-

¹ Субъективное качество изображения / скорость передачи битов в трансляции

дит прогрессивный формат. Самые распространенные на рынке дисплеи соответствуют спецификации EICTA 'HD-ready' или 'HD-Ready-1080p' (подробнее об этих и других марках см. <http://www.eicta.org/>).

Однако некоторые вещатели в Европе выбирают производственный формат 1080i/25 по другим, не техническим соображениям. Это бывает, например, когда старое оборудование поддерживает только 1080i/25 или когда программы заказываются или могут потребоваться заказчиком в 1080i/25. Эти причины понятны. Но также технически понятно, что чересстрочный след в сигнале HDTV нельзя удалить преобразователями стандартов. Поэтому цепь с прогрессивным сигналом, сгенерированным из чересстрочного источника, всегда будет иметь потенциально худшее качество по сравнению с полностью прогрессивной цепью.

Как правило, в чересстрочном производстве лучше использовать один высококачественный профессиональный конвертер прогрессивной развертки в точке воспроизведения, чем устранять чересстрочность во множестве (менее эффективных) бытовых устройств у зрителей. Дополнительное преимущество – вещательные кодеры эффективнее работают в смысле требований к скорости передачи с прогрессивными сигналами, полученными из чересстрочных, чем с чересстрочным HDTV.

Тесты EBU предполагают, что если все остальные элементы одинаковы, то преимущество вещания 720p/50 наблюдается, когда у зрителя имеется дисплей Wide-XGA (1366x768 пикселей, т.н. HD-Ready) или новый 1920x1080 пикселей (HD Ready 1080p), до размера диагонали около 52 дюймов.

Производители вещательных кодеров HDTV обычно обеспечивают дополнительные функции обработки сигнала, которые работают в полосе частот входного видеосигнала. Они обычно включают выбираемые входные фильтры, уменьшающие горизонтальное разрешение видеосигналов, для снижения необходимой скорости передачи при распространении, но с некоторым компромиссом качества.

Часто эта горизонтальная фильтрация выражается как число пикселей на строку. Снижение горизонтального разрешения уменьшает «критичность»² сцены и таким образом упрощает компрессию. Если сцена проявляет видимые артефакты компрессии, например, блочность, то уменьшение горизонтального разрешения может их снизить, хотя потенциал резкости изображения тоже падает.

Кроме того, форматы Sony HD-CAM и Panasonic DVCPROHD³ записывают всего 1440 выборок на строку (с разверткой камеры 1920x1080i/25). Вероятно, нет смысла в вещании материала, полученного из этого формата с более чем 1440 выборками на строку (хотя в интерфейсах HD-SDI передается сигнал 1920x1080i/25). Подобная ситуация наблюдается с форматом DVCPROHD, который горизонтально субдискретизирует (преобразовывает вниз) формат 1280 x 720p/50 в 960 x 720p/50 (хотя в интерфейсе HD-SDI будет сигнал 1280x720p/50).

Новые форматы Sony (XDCAMHD 422), Panasonic (AVC-I) и GVG/Thomson (Infinity J2K) не используют горизонтальную субдискретизацию ни для 1080i/25, ни для 720p/50.

Среда в полосе частот видеосигнала HDTV может содержать ряд форматов (уровней) качества, если система компрессии и скорость передачи выбраны для прозрачной передачи исходного сигнала.

Однако это совсем не является полным индикатором качества; главный индикатор качества системы подвижных изображений – это ее частота дискретизации яркости. Она использована в следующей таблице для классификации форматов развертки. Кроме горизонтального разрешения, есть несколько факторов, связанных с субъективно воспринимаемым качеством изображения, поэтому частоту дискретизации яркости не следует считать как единственную или пропорциональную меру потенциального качества.

Растр развертки	Частота дискретизации яркости
1920x1080p/50	148.5 MHz
1920x1080i/25	74.25 MHz
1920x1080p/25	74.25 MHz
1280x720p/50	74.25 MHz
	Эквивалентная частота дискретизации яркости с субдискретизацией
1440x1080i/25	54 MHz
960x720p/50	54 MHz
1280x1080i/25	48 MHz
960x1080i/25	36 MHz

² Технически – функция энтропии изображения, связанная со сложностью его сжатия без артефактов.

³ Недавно они заменены новыми форматами тех же компаний, например, XDCAM422 HD и Panasonic AVC-I.

Чем ниже уровень в таблице, тем ниже скорость передачи, необходимая для создания изображения без артефактов для данного алгоритма развертки, но также и ниже потенциальная детальность изображения – которая важна в просмотре HDTV.

Сигналы SDTV качества (720x576i/25, частота дискретизации яркости 13,5 MHz) могут конвертироваться вещателем в любой формат перед трансляцией. В этом случае качество для зрителя может быть лучше, чем при конверсии в его приемнике HDTV, и лучше, чем обычное SDTV – но все же не «HDTV». Это становится еще заметнее для зрителя, если у него есть возможность переключения между конвертированными из SD и «родными» HDTV каналами.

Во избежание двойного преобразования, в студии и в приемнике, при вещании формата HDTV, лучше, чтобы исходный материал 576i/25 конвертировался только один раз в 720p/50 через самый лучший студийный конвертер.

Формат 1080p/50 обеспечит большой запас качества в производстве программ и сделает большой вклад на будущее, когда появится производственное оборудование 1080p/50. Однако сегодня для этого формата нет полной студийной инфраструктуры на базе IT.

1080p/25 – прекрасный формат для производства программ, где воссоздание движения не критично, как это часто бывает в драмах (программах типа кино). Этот формат вписывается в канал передачи 1080i/25 в виде формата с сегментированными кадрами (1080psf/25) и может дать зрителям очень качественное изображение на дисплеях 1920x1080 (без преобразования формата изображения, а с отображением пикселей один к одному, хотя это сегодня бывает не часто) и небольшое повышение качества на более распространенных дисплеях WideXGA (1366x768).

Бывают случаи использования любого или всех четырех форматов, 1080p/50, 720p/50, 1080p/25 и 1080i/25, в производстве программ и одного или обоих форматов 1080i/25 и 720p/50 для распространения. Вещатели должны принимать по форматам информативно-обоснованные решения, а не только по совету изготовителей оборудования, которые могут быть очарованы своей линейкой продуктов.

Чтобы ответить на требования своих членов, EBU попросил производителей сделать производственное оборудование, которое было бы «быстро перенастраиваемым» и могло бы поддерживать любой из трех форматов 74.25 MHz. При возможности оборудование должно поддерживать и формат 1080p/50 (EBU R115). По сегодняшней информации (весна 2008), оборудование для основного HD производства нового поколения, изготавливаемое большинством производителей, может поддерживать любой формат 74.25 MHz.

В 2005 г. ассоциация производителей бытовой техники EICTA, поддерживаемая и стимулируемая EBU, согласовала лейблы, которые могут использоваться для дисплеев и приемников HDTV. Это ярлыки 'HD-ready' и 'HD-TV'. Они означают, что приемники и дисплеи могут интерпретировать и отображать формат 720p/50 и 1080i/25, а также SDTV.

Несколько производителей выпускают также дисплеи 1920x1080. До недавнего времени они снабжали их одним из множества четко не определенных ярлыков. Однако их смысл для публики ограничивался указанием, что дисплей использует «родную» панель 1920x1080. Это не означало ни отображения пикселей один к одному (т.е. без преобразования формата изображения), ни общепринятых форматов сигнала в его интерфейсах (например, 1080p24/25/ 50/60 для Blu-Ray). Эти неопределенные лейблы путали потребителей и промышленность и никуда не годились. К счастью, осенью 2007 г. EICTA согласовала новые, точно определенные ярлыки для дисплеев 1080p ('HD-Ready 1080p') и для интегрированных приемников-дисплеев ('HDTV - 1080p'). Это полезный шаг, и эти лейблы должны заменить предыдущие.

Европейские вещатели могут передавать 720p/50 или 1080i/25, или их версии с горизонтальной субдискретизацией, а также SDTV, зная, что все приемники "HDTV ready" смогут их декодировать и отображать (если зритель соблюдает все необходимые условия защиты от копирования и условного доступа).

Вещателям целесообразно информировать зрителей о качестве своих услуг. Это сложный вопрос, т.к. сегодня во многих передачах перед эфиром применяется «субдискретизация» для снижения скорости передачи битов за счет некоторой потери деталей изображения. Строго говоря, услуги, основанные на частоте дискретизации яркости 74.25 MHz, не должны технически обозначаться как 'HDTV'.

1.2 Варианты распространения

Вещатели должны решить, какие средства распространения использовать для своих услуг HDTV.

1.2.1 Широкополосные сети

Линейная/нелинейная широкополосная сеть (проводная и беспроводная) есть в некоторых частях Европы. Однако следует заметить, что для высококачественных (ненарушенных) HDTV-услуг нужны высокие скорости передачи данных, которые сейчас обеспечивает только технология VDSL. Можно использовать более распространенную технологию ADSL2+, но с некоторым ухудшением качества и 'QoS'⁴.

Во многих странах внедрены сети FTTH (Fibre to the Home), обеспечивающие гораздо более высокую скорость передачи (100 Mbit/s) в дома зрителей через протокол IP. Эти службы могут дать «прозрачное» качество HDTV, если сети контролируются во избежание потери пакетов для видео услуг.

Широкополосные сети обычно предлагают определенную скорость передачи битов, небольшую относительно емкости цифровых спутниковых, наземных и кабельных каналов. Кроме того, время переключения и другие параметры качества услуг могут зависеть от числа широкополосных потоков, которые одновременно смотрят зрители. Сегодня лишь несколько европейских широкополосных сетей могут передавать один канал HDTV без ухудшений – т.е. со скоростью 12 Mbit/s или выше.

Можно передавать HDTV по Интернету путем скачивания или потоком. Такие услуги могут передавать одноранговые сети, но нужна работа для определения целесообразности этого.

1.2.2 Факторы, влияющие на скорость передачи битов при распространении

При выборе скорости передачи надо помнить, что цифровая емкость, необходимая для передачи HDTV, зависит от ряда факторов:

- a) Формат развертки HDTV.
- b) Тип компрессии.
- c) Степень допустимых дефектов изображения.
- d) Нужно ли делать компрессию во время выпуска программы – «на лету» – или нет.
- e) Является ли сигнал HDTV частью «статистического мультиплекса».
- f) Производительность кодирующего оборудования определенного изготовителя.

Все европейские вещатели, объявившие на сегодня о своих планах вещания HDTV, будут использовать компрессию **H.264/AVC** (MPEG-4 Part 10), хотя некоторые службы HDTV все еще используют MPEG-2.

Спутники в основном имеют адекватную емкость данных для каналов HDTV, хотя нынешние спутниковые диапазоны заполнены.

Внедрение HDTV в наземных частотных диапазонах менее эффективно, главным образом потому, что наземный спектр – более дефицитный ресурс.

1.2.3 Спутниковая передача

Цифровой спутниковый транспондер – это, в сущности, контейнер, способный передавать цифровые сигналы любой формы, и в диапазонах DTH имеется значительный объем радиоволн.

Пропускная способность цифрового мультиплекса DVB-S2 обычно около 50 Mbit/s. Если он используется как единый статистический мультиплекс услуг HDTV с разным типом контента, с развитыми кодерами, то мультиплекс должен вмещать от 3 до 5 каналов HDTV AVC.

1.2.4 Наземная передача

Частотное планирование для цифрового наземного телевидения основано на использовании той же ширины канала, что и в нынешнем аналоговом телевидении. Это значит, что любая служба цифрового на-

⁴ Относится к времени передачи без ошибок

земного телевидения (ДТТ), включая наземные службы HDTV, будет основана на традиционных радиочастотных телеканалах с последующим ограничением размера цифровых мультиплексов.

Система цифрового наземного телевидения DVB-T – в сущности, «контейнер» объемом от 12 до 24 Mbit/s, в зависимости от уровня защиты от ошибок и схемы модуляции, для канала 7/8 MHz (Band III) или 8 MHz (Band IV и V).

В проекте DVB ведется работа над новым форматом цифрового наземного вещания, DVB-T2. Первая спецификация должна выйти в 2008 г. DVB-T2 должен предлагать в первом профиле 50% увеличения емкости канала по сравнению с DVB-T. Хотя на емкость влияет много параметров, типичная максимальная емкость канала для DVB-T2 может быть 36 Mbit/s. Однако приемников DVB-T2 не будет еще несколько лет.

Европейские страны, Африка и Средний Восток имеют план использования спектра для цифрового вещания в Band III, IV и V (план конференции 'GE-06'). Это определяет будущие HDTV, доступные вещателям.

Хотя распределение сложно, оно может дать около 6-8 «уровней» или мультиплексов, в зависимости от условий передачи и приема для цифрового наземного вещания в каждой стране. Они могут использоваться после отключения аналога, например, для услуг с почти универсальным охватом цифрового ТВ – эквивалентным современному аналоговому телевидению – для всех мультиплексов, но точное распределение будет решаться национальными администрациями.

После отключения аналога для тех, кто уже запустил ДТТ, в некоторых странах может увеличиться объем спектра для дополнительных мультиплексов или других услуг. Это будет зависеть от решений национальных администраций о степени и качестве охвата.

Дата отключения аналога во всех странах разная, как и способ использования дополнительного объема спектра, но в большинстве стран Европы это, вероятно, произойдет до 2012 г.

1.3 Лицензионная плата за MPEG-4-AVC

Фактор, влияющий на решения об использовании технологий – лицензионная плата. Особенно важна для передачи HDTV технология компрессии.

В ноябре 2003 г. MPEG-LA объявил плату за участие в вещании бесплатных передач с использованием MPEG-4 AVC.

- Без сбора для рынков в 100,000 или менее семейных единиц
- Для рынков более 100,000 семейных единиц - \$10,000 в год за услугу местного рынка.

Члены EBU выразили опасения об этих сборах, и MPEG-LA также предложил вариант единовременной платы \$2500 за профессиональный кодер

В 2008 г. для бесплатных вещателей имеются два варианта:

- Один платеж \$2,500 за кодер
- Ежегодный платеж \$10,000 за любое количество кодеров на юридический субъект.

Менее дорогой вариант зависит от метода работы отдельного вещателя.

1.4 Интерактивные службы и телетекст

Вещатели также могут добавить в услуги вещания HD интерактивность.

Телетекст уже позволяет ограниченную локальную интерактивность (только с разрешением SDTV), в то время как разработанная DVB система Multimedia Home Platform MHP (и другие системы) может обеспечить весь диапазон интерактивного контента (описательного и процедурного). MHEG API в Великобритании обеспечивает сейчас описательный контент.

Спецификация MHP 1.1.3 расширена для поддержки HDTV, т.е. разрешение 1280x720 и 960x540 как обязательные форматы и 1920x1080 как опциональный в дополнение к SD разрешению 720x576.

Оба обязательных разрешения 1280x720 и 960x540 «взаимоисключающие», т.е. могут использовать в определенное время только одно из приложений. В большинстве случаев вещателю придется выверять

разрешение графической платы HD MHP с разрешением видео контента. Если несколько приложений пользуются одной графической платой, они должны быть согласованы в одном разрешении.

Если свободные приложения от сетевого оператора активны одновременно с приложениями от вещателя, то стороны должны согласовать общее графическое разрешение для своих приложений.

Однако в настоящее время Технический комитет EBU отозвал свою рекомендацию по MHP из-за недостатка информации о лицензировании и разрабатывает требования для будущих систем.

1.5 Динамическое переключение разрешения HD и SD

Дисплей (или другое устройство), включенное вслед за приемником через аналоговые или цифровые (HDMI) интерфейсы, должен следовать за сменой разрешения без прерывания изображения, перемещения или «заморозки» кадров и без индикаций на экране дисплея, если на выходе приемника не сконфигурирован постоянный выходной формат. Использование такого формата хуже влияет на общее качество сигнала.

1.5.1 Динамическое переключение между SD и HD

Новые принципы DVB по реализации приемников, ETSI TS 101 154, определяют 4 категории приемников в сфере 50 Hz:

- Приемники на базе MPEG-2 и с поддержкой SDTV,
- Приемники на базе MPEG-2 и с поддержкой HDTV,
- Приемники на базе MPEG-4 H.264/AVC и с поддержкой SDTV
- Приемники на базе MPEG-4 H.264/AVC и с поддержкой HDTV

Эти категории не обязательно обратно совместимы, и в принципе можно делать приемники, способные как минимум декодировать MPEG-4/AVC в HDTV, но не поддерживающие ни SDTV, ни MPEG-2 услуг в любом разрешении.

Однако большинство приемников на рынках бесплатного вещания будут поддерживать разрешения HD и SD и часто – видео кодирование MPEG-4/AVC и MPEG-2. Требование поддержки более одной из этих категорий должно быть указано в правилах по приемникам.

Если приемник поддерживает более одной категории, вещатель может динамически переключаться между HDTV и SDTV в разных событиях для оптимизации использования вещательного канала. Приемники должны следовать таким изменениям без вмешательства пользователя, без индикации на экране и с минимальным прерыванием услуг, адекватным изменению в канале.

Поскольку такое почти бесшовное динамическое переключение точно не определено DVB, вещатель, желающий это сделать, должен составить точное требование и принять решение о передаче в эфир тест-сигналов для проверки этой функции. Этот подход поможет создать приемники, поддерживающие все режимы работы, даже если такие функции не используются с начала службы вещания HD.

1.5.2 Динамическое переключение разрешения и форматов HD

Как и с переключением между разрешением HD и SD, вещатель может динамически менять горизонтальное разрешение, например, между 1920 и 1440 пикселями, для данного вертикального разрешения, или между форматами 1080i и 720p. Такое переключение может помочь избежать каскадных процессов конверсии в вещательной цепи.

Как и с динамическим переключением между SD и HD, рекомендуется перед регулярными услугами с этой функцией выдать в эфир тест-сигналы и включить эти функции в спецификации соответствующих приемников.

1.5.3 Динамическое переключение каналов и транспондеров

Вещателям может быть полезно уметь предоставлять HD версии программ для различных каналов SDTV версии, и переключать приставки на HD версии программ, когда они есть. Этот подход используется TPS

во Франции с сигнализацией в DVB-SI, в «приватных данных» для сообщения о существовании HDTV версии программы и ее местонахождения (транспондер, мультиплекс, SI). Если такая функция будет нужна нескольким вещателям, можно разработать стандарт.

1.5.4 Сигнализация соотношения формата

Сигналы MPEG-4/AVC включают «пиксельное» соотношение формата как опциональный параметр в потоке битов, а для сигналов MPEG-2 это обязательная информация

Ко времени написания отчета не все кодеры AVC включают эту опциональную информацию и есть также небольшое несоответствие между спецификацией ISO/IEC MPEG-4/AVC и соответствующим документом DVB.

Однако все профессиональные вещательные кодеры должны включать эту информацию в вещательном потоке.

2. Компрессия – текущее состояние

2.1 Текущие скорости передачи битов в HDTV

Скорость, используемая для современных услуг HDTV, ограничена производительностью коммерчески доступных кодеров. Исследования EBU в 2005 г. показали, что некоторые аппаратные кодеры MPEG-4 H.264/AVC по скорости не лучше MPEG-2, а в некоторых случаях даже хуже. Эта ситуация улучшилась к сентябрю 2006 г. и продолжала улучшаться в 2007 и 2008 гг.

Для Чемпионата Мира летом 2006 г. европейские вещатели использовали скорости 19 Mbit/s (немецкий оператор платного ТВ "Premiere"), 20 Mbit/s (BBC, SVT) и 10.5 Mbit/s (TF1). Эти услуги 1080i/25 кодировались с постоянной скоростью.

К концу 2006 г. производительность кодеров была такова, что при статистическом мультиплексировании 2 или 3 служб HD можно было установить каждую с пределами скорости 6-20 Mbit/s без ухудшения качества изображения для более высоких скоростей (т.е. >16 Mbit/s).

В 2008 г. для HDTV вещания используется ряд скоростей, включая, например, около 13 Mbit/s у SRG для службы 720p/50 в Швейцарии.

Скорости передачи битов меняются в зависимости от роста производительности кодеров и других факторов, поэтому свежую информацию следует получать непосредственно у заинтересованного вещателя.

3. Вопросы вещания

3.1 Производительность кодеров

3.1.1 Кодеры

Кодеры для MPEG-4 H.264/AVC разработаны несколькими авторитетными производителями вещательного оборудования, а также производителями, известными по Интернет-приложениям и рынку IPTV.

Для реализации головных узлов большинство кодеров уже используется для оснащения как DVB-ASI, так и IP/Ethernet интерфейсов в качестве типичных для этой области применения.

3.1.2 Нынешнее качество H.264 по сравнению с MPEG-2

Качество кодеров MPEG-4 H.264/AVC в последние годы значительно улучшилось. Оценка образцов проводилась в проекте EBU D/HDC. Оценка качества была основана на первичных вычислениях PSNR, сопровождаемых субъективной корректировкой с помощью методологии, описанной в Приложениях к данному документу. Результаты оценки даны в отдельных отчетах по каждому производителю, доступных только членам EBU.

3.1.2.1 Предварительные выводы о качестве кодеров

Из оценки можно сделать следующие первоначальные выводы:

- Эффективность кодирования значительно возросла за 2006/7 гг. Практические реализации MPEG-4 H.264/AVC в вещании показывают явное преимущество над кодерами MPEG-2.

- Некоторые реализации кодеров MPEG-4 H.264/AVC дают сейчас экономию скорости передачи битов около 40-50% (в зависимости от критичности контента) по сравнению с MPEG-2 .
- 1080i/25 обычно труднее сжимать, чем 720p/50. Преимущество 720p/50 над 1080i/25 в разных реализациях разное. Текущие исследования показывают экономию скорости передачи битов в 720p/50 около 20% для критичного контента.

3.1.3 Проблемы задержки между аудио и видео

В системах HDTV со сложной компрессией и масштабированием главная проблема синхронизации звука и видео – это величина, на которую звук опережает видео вследствие обработки изображения, сопровождающейся задержкой, которая, в свою очередь, может быть гораздо больше задержки, вызванной обработкой звука.

Органы чувств человека гораздо более восприимчивы к опережению картинки звуком, чем к отставанию, т.к. звук после изображения вполне нормален, когда мы разговариваем с людьми, находящимися далеко. К сожалению, звук, опережающий изображение, к чему мы особенно чувствительны, это обычная форма недостатка синхронизации в HDTV вещании.

Ситуация сложная, т.к. задержка в самом дисплее может зависеть от чересстрочной или прогрессивной развертки входящего изображения из-за необходимости устранения чересстрочности в дисплее.

Порог восприятия опережения изображения звуком в критических условиях очень низкий – около 10 мс, а для отставания – около 20 мс. В нормальных обстоятельствах, однако, в Европе считается, что для SDTV это можно ослабить до 40 мс и 60 мс в сквозной цепи (EBU R37).

Делить это на разные части вещательной цепи можно произвольно, но в идеале задержка в комбинации кодер/декодер должна быть менее 5 мс, позволяя максимальную свободу для задержки в производстве и при домашнем просмотре.

3.2 Рекомендуемые конфигурации

3.2.1 Качество для вещания

Скорости передачи битов следует выбирать так, чтобы были допустимые (едва заметные или незаметные виртуально для всех программ) артефакты компрессии на дистанции просмотра 3Н, в сценах, «критичных для передовых систем компрессии, но не слишком», на данном образце дисплея (до 50"). Это означает использование сцен с высокой энтропией (полных неидентичных деталей и неравномерного движения), но которые все равно могут стать частью нормальной программы.

Чтобы служба HDTV имела общественную ценность, необходимо обеспечивать и поддерживать высокое качество, и присутствие артефактов не должно уменьшать ценность высокой четкости. Служба должна быть свободна от артефактов, чтобы давать добавленную ценность по сравнению с услугой SDTV.

Необходимая скорость передачи битов зависит от многих факторов, перечисленных в Разделе 1 данного отчета.

EBU провел ряд оценок производительности имеющихся сегодня в продаже профессиональных кодеров, которые, как уже говорилось, доступны только по запросу членам EBU.

4. Защита контента в приемнике

Информация о текущих вариантах защиты контента дана в Приложении 4 к отчету.

5. Общие выводы по передаче HDTV

В принципе, максимальное качество для зрителя получится при использовании максимального качества в производстве программ и самого эффективного формата в компрессии для вещания, с учетом возможностей зрительских дисплеев.

Максимальное качество HDTV можно обеспечить для обычных зрителей с дисплеями примерно до 50", если производство программ идет в формате 1920x1080p/50, а вещание – в формате 1280x720p/50.

Если производство в формате 1920x1080p/50 недоступно (как сейчас), максимальное качество изображения для зрителя будет достигнуто для сцен с критическим к движению контентом при производстве программ в 1280x720p/50 и передаче в 1280x720p/50. Это даст наилучшее качество для «событий» HDTV телевидения и лучший компромисс между скоростью передачи и качеством для потребителя.

Если производство в формате 1920x1080p/50 недоступно и программный контент содержит очень мало движения (т.е. в кино), максимальное потенциальное качество просмотра будет у зрителей при производстве в 1920x1080p/25 и передаче в 1920x1080psf/25. Это даст наилучшее качество для «драмы».

В случае производства программ в 1440 или 1920x1080i/25 преобразование в 720p/50 для вещания не значительно улучшит качество изображения, т.к. преимущества прогрессивной развертки для компрессии не будет, хотя профессиональные преобразователи стандартов могут повысить качество. Изображение может быть чуть лучше из-за меньшей сложности чересстрочно-прогрессивного преобразования. Лучше использовать профессиональные, высококачественные чересстрочно-прогрессивные конвертеры в вещательной компании, чем возлагать эту задачу на бытовые дисплеи или приставки.

Приложение 1: Метод оценки 1 – Базовые принципы

PSNR плюс экспертные просмотры

Существует много методов оценки качества изображения, и среди них – субъективные методы, предлагаемые ITU, методы, предлагаемые группой EBU SAMVIQ и другие методы, например, JND показатели в имеющихся на рынке продуктах для оценки качества SD (PQA 200/Текtronix).

Известно, что автоматические методы некорректно отражают субъективное качество, а полная субъективная оценка дорогая и трудоемкая. Так называемые «экспертные просмотры» - это метод сокращения ресурсов, необходимых для субъективного тестирования, но результат не подкрепляется статистическими данными.

Следовательно, производительность кодеков можно оценивать двухэтапным подходом:

- Автоматическое измерение PSNR и
- Коррекция цифр PSNR субъективной оценкой в процессе экспертного просмотра. Эта стадия экспертного просмотра нацеливает на определение последовательностей похожего качества, вместо того, чтобы пытаться оценить отличия в качестве последовательностей, и таким образом более надежна.

Метод также позволяет производить оценку последовательностей длиннее 10 сек, как обычно бывает в субъективной оценке.

Для субъективной корректировки и подтверждения результатов PSNR два выбранных потока из набора записей одновременно представлялись экспертам на двух дисплеях, стоящих рядом в просмотровом зале с контролируемыми условиями освещения. «Экспертные зрители» могли выбирать и проигрывать любой из записанных потоков для прямого сравнения.

Метод интерпретации результатов вычислений PSNR в свете субъективной экспертной оценки описан ниже.

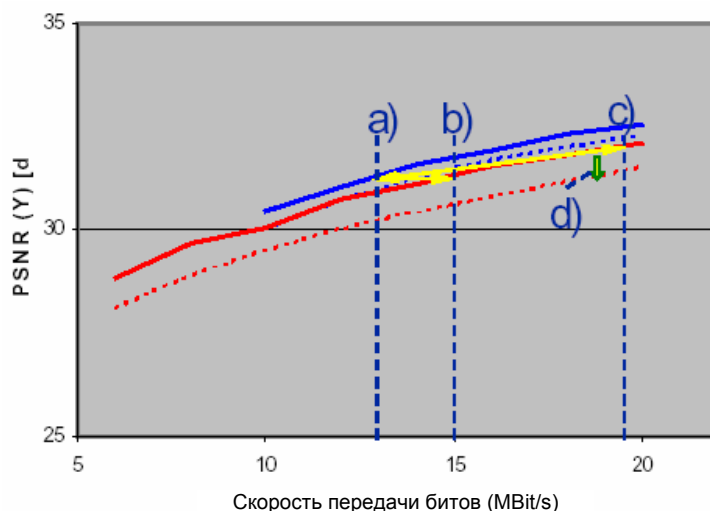


Рис. 1: Пример субъективной корректировки объективных цифр PSNR

Пример результата вычисления PSNR из двух разных кодеков показан на Рис. 1 в виде синих и красных кривых. В случае, когда объективные цифры PSNR прямо соответствуют субъективной оценке, последовательности с одинаковым PSNR, например, «синий» (опорный) кодер на скорости a) и «красный» тестируемый кодер на скорости b), должны давать идентичное субъективное качество при воспроизведении и сравнении рядом на двух дисплеях. Если ощущение субъективного качества не совпадало, сравнение повторялось на разной скорости до тех пор, пока субъективное качество не было признано идентичным. На Рис. 1 это предполагается при скорости c) для «красного» кодера.

В результате вертикальную коррекцию можно идентифицировать «красной» кривой (d) в сторону уменьшения значений PSNR и преобразовать объективную диаграмму PSNR в диаграмму, представляющую субъективное качество (Рис. 2). Ось Y на новой диаграмме уже не представляет строго абсолютные значения PSNR. Однако можно определить относительный «порог видности» (visibility threshold), соответствующий 0.5-0.7dB, который точно совпадает с цифрами, известными из литературы.

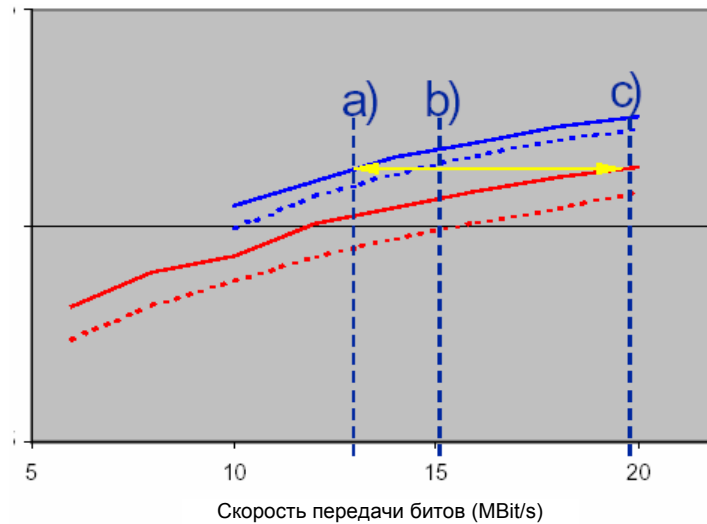


Рис. 2: Диаграмма после субъективной корректировки

Эта субъективная корректировка проводилась для каждого тестируемого кодера по опорному кодеру на базе MPEG-2. Кроме того, сдвиг корректировки удостоверялся для каждого кодера на разных скоростях, например, для подтверждения того, что строго вертикальный сдвиг реально отражает субъективную оценку.

Для окончательного подтверждения корректности была проведена прямая перекрестная проверка между двумя «скорректированными» кодерами, например, между двумя кодерами H.264 для проверки, что корректирующие сдвиги, определенные по отдельности для этих кодеров, ведут к согласованным результатам при прямом сравнении кодеров.

Приложение 2: Метод оценки 2 – Базовые принципы

Непрерывная оценочная шкала с тройным стимулом (TSCES - Triple Stimulus Continuous Evaluation Scale)

Здесь предлагается новый метод субъективной оценки качества видео, особенно подходящий для HDTV. Метод TSCES позволяет производить оценку и ранжирование производительности различных телевизионных форматов путем оценки тестируемого формата относительно двух опорных изображений; определенных в качестве указателей низкого и высокого качества.

Метод

Экспертам предоставлены три монитора: один выше другого, как показано на Рис. 3. Идентичные дисплеи расположены так, чтобы опорный зритель мог сидеть на расстоянии трехкратной высоты изображения от глаз ($3h$ – «расчетная дистанция просмотра» для HDTV) до всех трех дисплеев. Кроме того, при типичной высоте (в сидячем положении) до глаз 1.2 м зритель нормально видит каждый монитор (т.е. под углом 90° к плоскости экрана). Когда мониторы расположены друг над другом, зрители быстро сообщают, что надо делать для сравнения изображений на всех экранах. Это особенно подходит для широкоэкранных дисплеев, т.к. при таком расположении оценивать изображения могут сразу три зрителя. Рекомендуются условия просмотра ITU-R BT.500-11. Верхний дисплей используется как верхний эталон, опорное изображение высокого качества, а нижний – для опорного изображения низкого качества, связанного с наличием определенных ухудшений. Тип ухудшения для опорного изображения низкого качества должен быть аналогичен ухудшениям в тестируемых сценах, которые показываются на среднем дисплее. Все три дисплея одновременно показывают один и тот же контент.

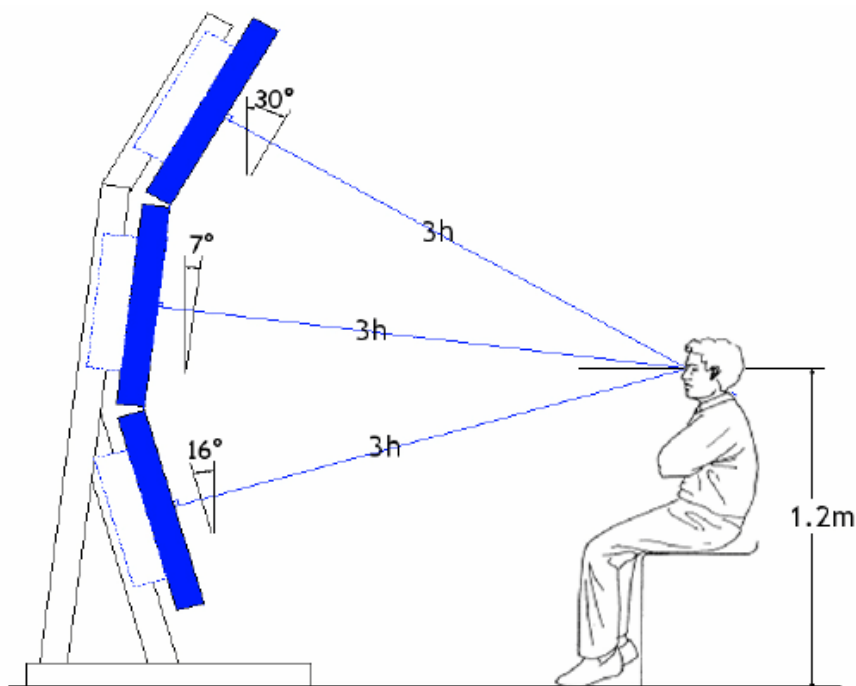


Рис. 3: Конфигурация установки для трех дисплеев

Презентация и голосование: Сначала проводится учебный сеанс и объяснение. Каждая тестовая последовательность продолжается 10 сек и повторяется 4 раза до голосования. На среднем дисплее испытательные последовательности показываются в случайном порядке и содержат в себе опорные изображения и высокого и низкого качества для проверки согласованности оценок экспертов. Экспертам для оценки дается непрерывная линия 100 мм (Рис. 4). Верх линии – качество изображения верхнего монитора, а низ – нижнего. Эксперты отмечают общее качество изображения на центральном мониторе между верхом и низом этой линии.



Рис. 4: Шкала для голосования на бумаге – исходная длина 100 мм

Отчет о результатах: Указываются условия просмотра и документируются точные инструкции и процедура голосования. Статистический анализ результатов с экспертной классификацией может проводиться в соответствии с ITU-R BT.500-11. Необходимо также четко документировать условия показа и правила генерирования сигнала опорного изображения высокого качества, сигнала изображения ухудшенного качества и сигнала опорного изображения низкого качества.

Ссылки:

Hoffmann, H.; Itagaki, T.; Wood D., Hinz, T., Wiegand, T., 2007. *A novel method for subjective picture quality assessment and further studies on HDTV formats*. IEEE Transactions on Broadcasting, March/2008

Приложение 3: Метод оценки 3 – Базовые принципы

Методы, используемые в группе D/HDC для текущей оценки кодеров.

1. **Качество H.264/AVC сравнивалось с качеством MPEG-2 при удвоенной скорости для изучения заявленной 50% экономии скорости для H.264/AVC по сравнению с MPEG-2.**

Метод:

Для 720р/50 H.264/AVC с низкой* скоростью передачи (например, 6 Mbit/s) сравнивался с удвоенной скоростью (например, 12 Mbit/s) MPEG-2. Просмотр производился с разбивкой экрана.

Для 1080i/25 (с 1920x1080i/25 и 1440x1080i/25) H.264/AVC с низкой* скоростью передачи (например, 8 Mbit/s) сравнивался с удвоенной скоростью (например, 16 Mbit/s) MPEG-2. Просмотр производился с разбивкой экрана.

*Примечание: такая низкая скорость была выбрана потому, что заявлена некоторыми поставщиками кодеров как достаточная для HDTV

Контент:

Использовался контент разной критичности, представляющий «критичный, но не слишком» контент (ITU-R BT.500-11)».

Результаты:

Комментарии с описанием наблюдаемых артефактов (например, шума, потери разрешения или блочности) и определением, достигнута ли заявленная экономия скорости передачи битов.

2. **Определение порога с помощью изображения опорного качества MPEG-2 с высокой скоростью передачи (например, 24 Mbit/s).**

Этот метод используется для определения скорости H.264/AVC, необходимой для достижения того же качества, что и в изображении опорного качества кодированного MPEG-2. Необходимая скорость H.264/AVC будет зависеть от вида последовательности.

Результаты:

Записывается последовательность и скорость передачи битов. Можно давать дополнительные комментарии по артефактам.

Приложение 4: Элементы безопасности цифрового вещания HDTV

Нынешняя ситуация предполагает, что члены EBU имеют **разные обстоятельства и разные требования** к безопасности вещания HDTV. Поэтому среди членов EBU должен быть ряд различных сценариев.

- «Общая позиция EBU» может означать подтверждение существования различных сценариев, каждый из которых может подходить для разных членов, в зависимости от местных обстоятельств
- Существует пять сценариев, используемых разными вещателями в разных странах.

Элементы, определяющие безопасность вещания

В тракте вещания надо учитывать два основных элемента:

- Сигнал в тракте вещания **от передатчика (например, через спутник) до приемника** у зрителя, обычно являющегося приставкой.
- Сигнал в тракте у зрителя **от приставки до дисплея**.

Сигналы в каждом случае могут быть «открытыми» или «зашифрованными». Если сигнал «зашифрован», изображение не будет видно до «дешифровки».

Для первого элемента тракта вещания, например, от спутника до домашнего приемника, для ограничения зоны охвата может применяться **«геопозиционирование»** (ограниченный охват определенных географических зон).

Зоны охвата вещания могут в принципе ограничиваться двумя способами:

- Первый можно назвать **«физическим геопозиционированием»**. В этом случае луч покрытия или комбинация луча покрытия и системы коррекции ошибок в тракте спутниковой передачи устанавливаются так, чтобы передачу могли смотреть только зрители в данной области. Это может быть возможно или нет в зависимости от факторов, например, наличия спутниковых лучей. Это делается, например, в BBC и ITV для ограничения зоны охвата цифровых спутниковых служб границами Великобритании.
- Второй можно назвать **«электронным геопозиционированием»**. В этом случае вещательный сигнал шифруется и доступен только тем, у кого есть приемник, принимающий смарт-карты, и определенная смарт-карта. Это делается, например, для услуг SDTV в SRG (Швейцария), которая предоставляет смарт-карты только тем, кто оплатил годовую лицензию и обычно проживает в Швейцарии. Существуют методы скремблирования, например, алгоритм DVB, но специально рекомендованного EBU метода для этого приложения нет.

Причина применения геопозиционирования в вещании обычно в том, что зрители вне определенной зоны не покупают права

Для второго элемента тракта вещания, от приставки до дисплея, может применяться **«защита контента»** для предотвращения копирования и перераспределения сигнала. Если простой сигнализации о том, что материал нельзя копировать, недостаточно, сигнал в канале можно скремблировать (в новой системе, отдельной от используемой в тракте вещания).

Сигнал будет виден на дисплее, если это «авторизованный» дисплей (подвергнут идентификации или аннулированию между STB и дисплеем), т.к. он будет содержать дескремблер. Есть стандартизированный метод скремблирования и дескремблирования в этом канале под названием **'HDCP'** (High Bandwidth Digital Content Protection).

Скремблирование HDCP можно включить или отключить по умолчанию, что будет статусом оборудования при покупке. В принципе, это можно переключать в любое время или по контенту. Однако это требует, чтобы вещатели вставляли в сигнал флажок для активации или деактивации соответствующего режима, соблюдая режим по умолчанию. Этот флажок, однако, требует определенного защищенного транспорта, который обычно недоступен для передач FTA.

В Проекте DVB разработана система сигнализации, которая может использоваться для включения и выключения скремблирования HDCP. Сигнализация DVB предназначена для защиты контента и управления копированием (DVB-CPCM). Она содержит флажок 'Do Not Scramble', который может использоваться для контроля HDCP. Эта сигнализация может быть реализована, и использоваться до реализации решения DVB-CPCM в бытовой электронике в целом.

Общая система безопасности вещания определяется **комбинацией методов в двух частях тракта сигнала**. Между двумя элементами есть связь, т.к. может потребоваться баланс безопасности в обеих частях – высокой и низкой. Однако бывают обстоятельства, когда это не применяется.

Сценарий 1: Скремблированное бесплатное ТВ (FTA/S - Free to Air Scrambled) с включением HDCP по умолчанию в приставке или приемнике

- 1.1 Цифровой сигнал HDTV в тракте вещания скремблируется. Цель – не активирование платежных систем, а обычно гарантия, что программы могут смотреть только зрители в данных географических зонах («геопозиционирование»), когда это позволяют правовые ограничения.
- 1.2 Цифровые сигналы HDTV могут приниматься только в «авторизованных» приемниках, т.е. приемники соответствуют спецификации, включающей процесс дескремблирования, и им нужна смарт-карта.
- 1.3 Часть дескремблера находится в смарт-карте, которую нужно вставить в приемник. Смарт-карты пользователь может получить бесплатно в момент покупки приемника или другим удобным способом, но только в географически авторизованных местах. Они могут выдаваться после подтверждения оплаты ТВ лицензии.
- 1.4 С этим сценарием связаны некоторые дополнительные расходы, по сравнению с бесплатным сценарием без скремблирования. Приставки сложнее и стоят дороже. Требуется изготовление и обеспечение смарт-карт. Вещатели несут дополнительные расходы, связанные с процессом скремблирования.
- 1.5 Бремя дополнительных расходов для зрителя может быть легче, т.к. массовое производство приемников неизбежно снижает стоимость функций в приемнике. Стоимость приставки больше определяется объемом производства, чем стоимостью ее компонентов.
- 1.6 Расходы вещателя в выпуске смарт-карт большие, если ложатся на одного вещателя, и могут оказывать на вещателей большое воздействие. Расходы можно снизить, если поделить их коллективно на группу вещателей. Система смарт-карт работает в Японии, и расходы на выпуск смарт-карт оказались выше, чем ожидалось.
- 1.7 Скремблирование между приставкой и дисплеем установлено на «вкл.», если нет других инструкций. Авторизованные дисплеи (например, с ярлыком 'HD ready') могут дескремблировать сигнал и отображать его. Старые дисплеи без встроенного HDCP-дескремблера (и без ярлыка HD-ready) не могут отображать цифровой сигнал, но могут видеть немного неполноценное аналоговое изображение HDTV.
- 1.8 Программы, которые нужно скремблировать по причинам «геопозиционирования», также могут подвергаться ограничениям в копировании и переводе в другие медиа, например, Интернет. Однако, когда обязательства по распространению контента в географической зоне выполнены, может не быть причин, по которым нельзя оставлять контент открытым после доставки зрителю.
- 1.9 Если вещатели активно используют HDCP, это значит, что они несут ответственность за распространение «черного списка» устройств, которые нельзя обслуживать, т.к. они позволяют некоторое пиратство – так называемый «список отзыва». Кроме того, если устройство входит в «список отзыва» из-за вставки оператором платного ТВ, тот же отзыв применяется и к бесплатным услугам, независимо от общественной миссии оператора бесплатных услуг.

Сценарий 2: Нескремблированное бесплатное ТВ (FTA - Free to Air Unscrambled) с отключением HDCP по умолчанию

- 2.1 Цифровой сигнал HDTV в тракте вещания не зашифрован. Могут использоваться другие методы физического геопозиционирования.
- 2.2 Цифровые сигналы HDTV могут приниматься любым приемником, и смарт-карты не нужны.
- 2.3 Старые дисплеи HDTV и новые HD-ready могут видеть цифровой сигнал HDTV
- 2.4 Если система сигнализации стандартизирована в проекте DVB и приемники ее распознают, вещатель сможет удаленно переключать скремблирование HDCP. Это может быть важно, если на рынке есть приставки, где HDCP включено по умолчанию и если производители обязаны выпускать устройства HDCP с этой переключающей функцией.
- 2.5 Эта конфигурация предотвращает отзыв от блокировки приема.

Сценарий 3: Нескремблированное бесплатное ТВ (FTA - Free to Air Unscrambled) с включением HDCP по умолчанию

- 3.1 Цифровой сигнал HDTV в тракте вещания не зашифрован. Могут использоваться другие методы физического геопозиционирования.
- 3.2 Цифровые сигналы HDTV могут приниматься любым приемником, и смарт-карты не нужны.
- 3.3 Скремблирование между приставкой и дисплеем установлено на «вкл.», если нет других инструкций. Авторизованные дисплеи с ярлыком 'HD ready' и дескремблером HDCP могут дешифровать сигнал и показывать его зрителю. Другие, неавторизованные, устройства не могут. Это служит препятствием к перераспределению программы. Другие дисплеи, без ярлыка HD-ready, не могут отображать цифровые сигналы HDTV, но могут видеть немного неполноценный аналоговый сигнал HDTV, хотя в средней или дальней перспективе есть тенденция отказаться от таких аналоговых интерфейсов.
- 3.4 Если все устройства совместимы с HDCP, бесплатные программы прозрачно пойдут на дисплей. Если устройство используется вместе с другими поставщиками услуг, например, платным ТВ с более строгими ограничениями по безопасности, и если поставщики контента обязывают платных вещателей отозвать определенные устройства, экран будет черным и для контентта FTA, т.к. отзыв HDCP касается устройства, а не контентта. Это один из минусов включения HDCP по умолчанию.

Сценарий 4: Скремблированное платное ТВ с включением HDCP по умолчанию

Это самый вероятный сценарий для услуг платного ТВ.

Как говорилось выше, применение отзыва устройств может влиять на прием контентта FTA.

Сценарий 5: Скремблированное платное ТВ с отключением HDCP по умолчанию

Это второй сценарий для услуг платного ТВ

Цифровой сигнал HDTV в тракте вещания скремблируется, но по умолчанию скремблирование HDCP между приставкой и дисплеем отключено.

Платные ТВ службы используют в тракте вещания патентованные системы скремблирования для включения скремблирования HDCP, если это требуют владельцы определенного контентта.

По имеющейся информации, этот сценарий использует немецкий платный вещатель Premiere.

Текущая ситуация в Европе

По имеющейся информации:

France Television считает, что во Франции нужен сценарий 1, включая общественное вещание. Доминирующий фактор – критическая потребность в контентте, доступном только при гарантированном геопозиционировании и контроле копирования.

ARD, ZDF и SRG считают, что в Швейцарии и Германии нужен сценарий 2. Доминирующий фактор – национальная политика открытого общественного вещания.

BBC и ITV считают, что в Великобритании нужен сценарий 3. Доминирующий фактор – сочетание национальной политики открытого общественного вещания вместе с желанием предпринять некоторые шаги для ограничения перераспределения контентта. Эти меры хоть и не «водонепроницаемы», но служат препятствием к несанкционированному перераспределению.

Есть информация, что сценарий 5 используется для платных ТВ услуг Premiere, а 4 – Sky Italia, Sky UK и Canal plus/TPS. Причины для других подходов не установлены.