

Managing Audio Delays

and Lip-Sync for HDTV

Внимание!

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

Управление

задержкой звука

и синхронизацией изображения и речи для HDTV

Rowan De Pomerai

BBC Future Media & Technology

Зрители, вложившие деньги в высококачественное приемное оборудование HD, испытывают дома трудности с синхронизацией аудио-видео – вследствие задержек обработки, вводимых современными ЖК и плазменными дисплеями. Приставки часто имеют средства, чтобы этим управлять, но зрители не могут легко калибровать эти установки.

Поэтому BBC решила им помочь путем передачи синхронизирующего тест-сигнала, а также полного анализа многоканального звука в цепях производства и вещания.

Телевидение высокой четкости (HD) становится все более популярно во всем мире, и изображения в более высоком разрешении часто сопровождаются многоканальным или объемным звуком. В мае 2006 г. BBC внедрила пробный канал HD, ставший в декабре 2007 г. полноценной службой. BBC HD наряду с текущими службами в Великобритании (Sky и Freesat по спутнику и Virgin Media по кабелю) использует **Dolby Digital** как первичный аудио кодек при распространении программ – и для стерео программ, и, если есть, для объемного звука 5.1.

Dolby E используется BBC для передачи звука в цепях производства и распределения сигнала – для транспортировки большего количества аудио каналов и метаданных, необходимых для передачи Dolby Digital. Однако через несколько месяцев после начала вещания технология все еще работала с перебоями; хотя в общем мы вещали без серьезных проблем, случались мелкие трудности вроде слышимых артефактов при переходах и проблемы синхронизации аудио-видео, а иногда более серьезные трудности вызывали более заметные проблемы в эфире. Поэтому использование Dolby E во всех рабочих процессах стало пересматриваться с целью изучения проблемных зон и решения всех вопросов.

Кроме того, зрители, купившие высококачественное приемное оборудование HD, испытывали проблемы с синхронизацией аудио-видео дома – из-за задержек обработки в современных ЖК и плазменных дисплеях. Приставки часто имеют средства, чтобы этим управлять, но зрители не могут легко калибровать эти установки, поэтому BBC решила помочь им путем передачи синхронизирующего тест-сигнала.

В статье рассматриваются трудности синхронизации аудио-видео (изображения и речи) в цепи передачи и дома. Дальнейшая информация по этим вопросам и полное обсуждение других результатов анализа Dolby E – например, связанных с метаданными, системной синхронизацией и мониторингом – будет вскоре опубликовано в «белой книге» BBC Research & Development: <http://www.bbc.co.uk/rd>.

Инфраструктура вещания в BBC

Многие проблемы управления реализацией новой технологии в разных участках инфраструктуры вещания состоят в координации работы разрозненных технических департаментов. В BBC, как и во многих вещательных компаниях, эта проблема усугубляется тем, что большие участки инфраструктуры распространения управляются внешними организациями. Тракт прямого вещания в высокой четкости с ПТС показан на *Рис. 1*, а соответствующие компании – на *Рис. 2*.

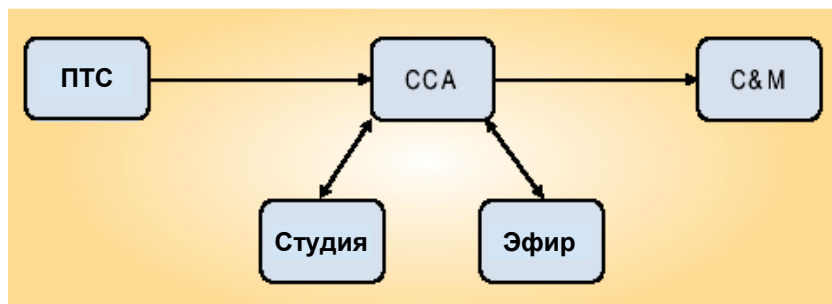


Рис. 1
Общий вид тракта сигнала с ПТС BBC HD

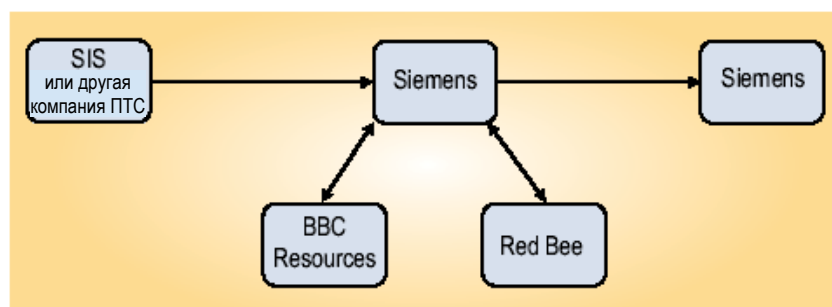


Рис. 2
Компании, управляющие различными частями тракта сигнала

Главные области можно обозначить следующим образом:

- **ПТС** – управляется одной из множества компаний ПТС, один из примеров – SIS Live, ранее BBC Outside Broadcasts. Кроме того, может участвовать провайдер отдельных каналов связи.
- **ССА** – центральная зона связи в BBC Television Centre (TVC), служит центральным пунктом маршрутизации в распространении.
- **Студия** – в случае вставки ПТС в студию программу может использоваться студия в BBC Television Centre.
- **Эфир** – Red Bee Media управляет эфирной зоной BBC, где составляются расписания, микшируются соединения, добавляются объявления передач и воспроизводятся записанные программы.
- **Coding & Multiplex (C&M)** – кодирование и мультиплексирование для цифрового ТВ управляется Siemens и находится в TVC.

Лишь в работе со всеми этими партнерами может быть сформирована согласованная стратегия правильного управления Dolby E во избежание проблем.

Введение в Dolby E

Dolby E – поток данных, разработанный Dolby Laboratories и передающий до 8 каналов цифрового звука в стандартном стерео канале (AES3), а также транспортирующий метаданные, которые описывают звук и

его воспроизведение. Это профессиональный поток данных, предназначенный для использования в производстве и в вещательных инфраструктурах – но не для распространения и не для потребителя. Он использует небольшое снижение скорости передачи данных, создавая возможность применения множества циклов кодирования-декодирования.

Dolby E часто используется вместе с Dolby Digital, бытовым потоком данных, который также передает несколько каналов звука (до 6) и соответствующие метаданные и используется многими вещателями как кодек распространяемых программ.

Бытовые метаданные, используемые в потоке Dolby Digital, передаются потоком Dolby E вместе с дополнительными *профессиональными* метаданными. Поэтому бытовые метаданные могут переводиться из декодера Dolby E в кодер Dolby Digital, сохраняя непрерывность метаданных от студии до дома.



Рис. 3
Упрощенная синхронизация Dolby E (не в масштабе)

Dolby E делит звук на кадры с частотой, соответствующей связанному с ним видео. Кадр Dolby E не может разбит или модифицирован каким-то образом – как например, настройка усиления, преобразование частоты дискретизации или коррекция. Неполный или поврежденный кадр не будет воспроизводить надлежащий звук, а может вызвать паузу в течение кадра или интерпретироваться как звук PCM, создавая громкий «всплеск» на выходе. Каждый кадр (Рис. 3) чуть короче видео кадра, позволяя использовать защитную полосу и оставляя пустое время в начале и конце кадра. В этой защитной полосе находится точка переключения, используемая микшерами и маршрутизаторами, позволяя переключаться между видео источниками без нарушения встроенного Dolby E.

Серьезные проблемы могут возникнуть, если оборудование смещает кадры Dolby E или если Dolby E не совпадает с видео, из-за разной задержки обработки и распространения, связанной с аудио и видео. Даже безопасные на вид устройства, например, кадровые синхронизаторы, при неправильном управлении могут вызвать проблемы, и хотя кадрово-синхронный характер Dolby E позволяет монтажные переходы без декодирования, такие действия как микширование звука и наложение речи требуют аккуратной реализации цикла декодирования-кодирования. Детали этих вопросов и практические рекомендации не входят в рамки данной статьи, но будут рассмотрены в соответствующей «белой книге».

Синхронизация в цепи передачи

Каждый цикл кодирования и декодирования Dolby E вводит фиксированную задержку в 1 видеокادر (например, 40 мс в системе 25 Hz). Это значит, что задержками надо точно управлять, иначе возникнут серьезные проблемы синхронизации аудио-видео, хотя управление этими эффектами облегчается «круглым числом» задержки при обработке.

В среде PCM ожидается, что программы будут передаваться вещателю с звуком, синхронным с видео. Однако в системе Dolby E выбор менее очевиден. Основных вариантов два:

- **Синхронное кодирование** – Кодированный звук находится на ленте (или идет в канале) синхронно с видео. Задержка декодирования должна компенсироваться в декодере с помощью эквивалентной задержки видео.
- **Задержка заранее** (с компенсацией декодирования) – Кодированный звук на один кадр опережает видео, означая, что после задержки декодирования он станет синхронным.

BBC начала с последнего варианта, но вместе с другими британскими вещателями решила перейти на первый. Это было обусловлено разными факторами, в т.ч. возможностью монтажа без смещения звука. Однако при анализе Dolby E оказалось, что по административной ошибке одна техническая зона до сих пор работала по старому стандарту, из-за чего в BBC HD постоянно происходит ошибка синхронизации изображения и речи на один кадр. Это было быстро исправлено, но служит поучительной историей для тех, кто управляет Dolby E; задержки надо точно учитывать!

Еще одна потенциальная ловушка – гарантия отсутствия двойной компенсации. Многие устройства, распознающие Dolby-E, «услужливо» включают кадр задержки видео для компенсации задержки декодиро-

вания звука. Среди таких устройств – де-эмбеддеры, видео кодеры MPEG и др. Естественно, нужно гарантировать, что все эти задержки известны. Вообще, такие задержки конфигурируются, но установки нужно проверять, т.к. если в де-эмбеддере включен кадр задержки, а затем применяется дискретная задержка на кадр, то видео задерживается дважды и теряет синхронизацию со звуком. BBC часто использует задержки видео в эмбеддерах и другом оборудовании для компенсации задержки кодирования/ декодирования звука, но соответствующие задержки звука и видео всегда сосуществуют, чтобы сигнал, выходящий из любой технической зоны (студии, ССА, эфирной и т.д.) был синхронизирован. Важно заметить, что в цепочках передачи большинства вещателей принимается смешанный контент. Эфирная зона BBC должна принимать программы со звуком 5.1 Dolby E и стерео PCM и выводить все программы в кодировке Dolby E (5.1 или 2.0) с метаданными и корректной синхронизацией. Поэтому необходимо учитывать различные задержки в устройствах для Dolby E, PCM аудио, видео и иногда отдельных метаданных. При попытке отследить эти задержки быстро выясняется, что традиционные схемы недостаточно точно представляют нужную информацию. Поэтому была разработана простая, но эффективная нотация, по которой любое устройство может быть представлено как общий блок с задержками, показанными для четырех вышеупомянутых элементов (Рис. 5).

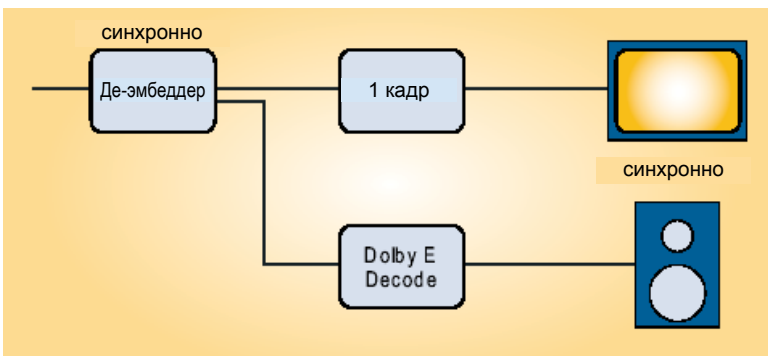


Рис. 4
Выбранное BBC решение передачи и задержки для Dolby E

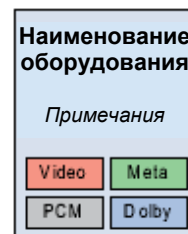


Рис. 5
Общий схематический блок, идентифицирующий задержки

На Рис. 6 изображен блок для описания сектора систем воспроизведения BBC HD. Эта зона – отличный пример проблем управления синхронизацией. Декодер Dolby E, например, должен быть тщательно сконфигурирован так, чтобы звук PCM проходил через него без изменений, но был бы задержан на то же время, на которое это устройство задерживает поток Dolby E, т.е. на 40 мс. Если декодер сконфигурирован некорректно, он нарушит синхронизацию PCM аудио с видео, если остальная система сохраняет Dolby E в синхронизации.

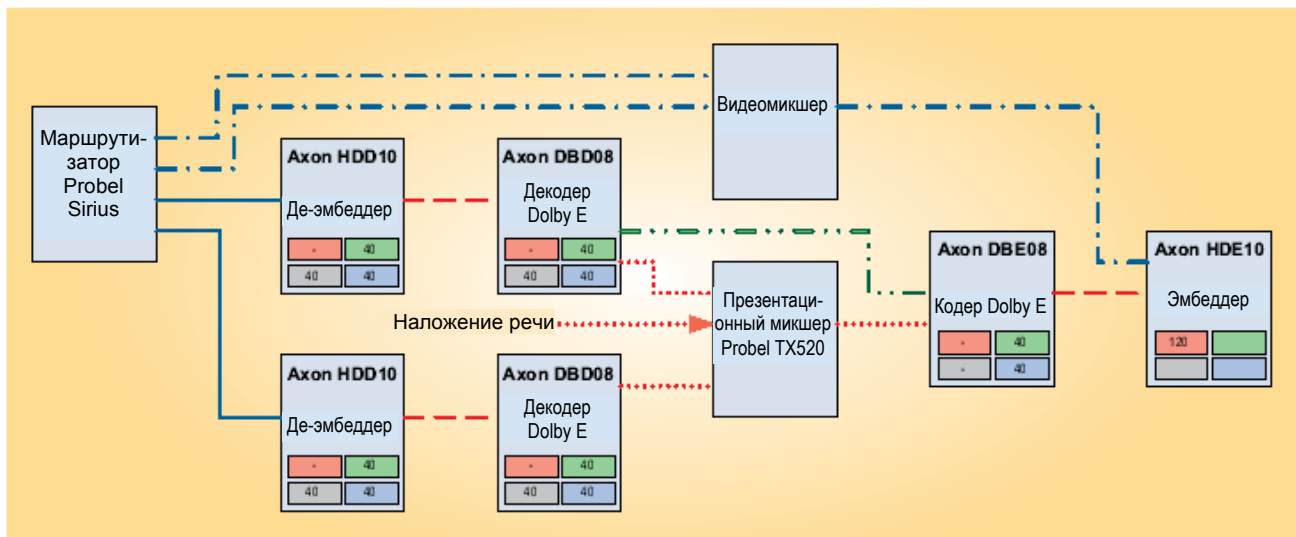


Рис. 6
Сектор инфраструктуры воспроизведения BBC

Между тем, метаданные для программы Dolby E передаются из декодера в кодер по последовательному каналу, поэтому нужно учитывать любые задержки звука между этими устройствами – т.е. в микшере – т.к. они не должны нарушать синхронизацию звука с метаданными. Это может привести к повторному связыванию метаданных с неверным кадром звука и к непредсказуемым эффектам в стыках. (Задержка микшера достаточно мала, чтобы в данном случае не приниматься в расчет.)

Наконец, надо задержать видео в соответствии с задержками в аудио цепи. Эта задержка применяется в эмбеддере, чтобы выходной сигнал был синхронизирован. Хотя эти вопросы могут показаться сложными, нотация позволяет простую арифметическую проверку для гарантии совпадения задержек для PCM, Dolby E, видео и метаданных.

Однако тестирование ничем не заменить. Для гарантии корректной синхронизации следует провести такие тесты как Probel VALID/VALID8, тест с тоном и вспышкой (с разных устройств, включая контрольное оборудование Tektronix) или другие тесты синхронизации. При этом, если тест-сигнал должен кодироваться в Dolby E после генерирования и/или декодироваться в PCM для измерений, нужно точно учитывать все задержки, чтобы полученные показания были полностью понятны.

Диаграммы инфраструктуры BBC и задержки были использованы для проверки соответствия результатов тестирования ожиданиям, а не в качестве замены тестов.

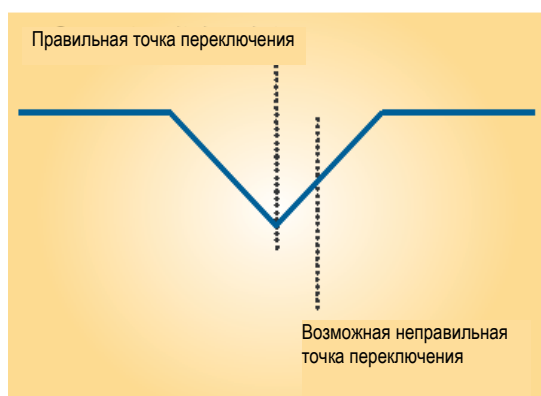


Рис. 7 Проблемы точки переключения при V-микшировании

Дополнительная проблема, вызванная задержками оборудования Dolby E и которая может быть сразу не заметна, это задержка между маршрутизатором и микшером. На Рис. 6 изображены два устройства, каждое из которых вводит кадр задержки между маршрутизатором и микшером. Поскольку система автоматизации при создании в программе перехода с одного источника на другой управляет и маршрутизатором, и микшером, результаты этой задержки могут создать проблемы.

При V-переходе микшер убирает громкость источника в программной шине до нуля (тишина), затем новый источник подключается к шине и микшер поднимает громкость до полного уровня. Планируемый эффект – уходящий источник постепенно затухает до нуля, а затем постепенно появляется входящий источник. Причем, переключение с уходящего источника на входящий происходит в маршрутизаторе одновременно с тем, как микшер доходит до точки тишины. Если микшер сразу начнет опять увеличивать громкость, то уходящий источник будет слышен дважды, т.к. время задержки де-эмбеддера и декодера приведет к тому, что эффект переключения маршрутизатором источников появится на микшере не ранее, чем через 80 мс. Зритель после тишины на короткое время услышит снова звук уходящего источника, перед тем как будет вводится звук нового источника. С точки зрения микшера переключение источников происходит на 2 кадра позже момента тишины.

Решение этой проблемы – параметр микшера *switchback delay*, который эффективно превращает V-переходы в короткие U-переходы. Другими словами, тишина держится определенное время, выжидая, чтобы переключение источников поступило от маршрутизатора на микшер раньше, чем начнется увеличение громкости. Это допустимый компромисс, и такой вариант применяется сейчас Red Bee Media по предложению BBC.

Другие проблемы такого же характера рассматриваются в ближайшей «белой книге» BBC Research & Development по использованию Dolby E, однако надеемся, здесь нам удалось проиллюстрировать, что проблемы, связанные с добавлением задержек обработки в цепь сигнала, могут быть сложнее, чем ожидалось в начале.

Синхронизация дома

В то время как смешение аудио форматов в цепи передачи создает проблемы синхронизации изображения и речи для вещателя, у зрителя имеются свои сложности. В ситуации, когда приставка (STB) отдельно подключена к дисплею и к аудиоприемнику или усилителю (например, по HDMI и оптическому кабелю), цепи аудио и видео сигналов разделяются. Поэтому задержки обработки в одной цепи могут вызвать проблемы синхронизации, и с современными ЖК и плазменными дисплеями, регулярно добавляющимися

до 100 мс задержки из-за устранения чересстрочности и прочей обработки, пользователь может остаться с серьезными ошибками синхронизации.

Хуже, что видео отстает от звука. Это еще больше дезориентирует зрителя, чем отставание звука. Если взглянуть на свойства звуковых и световых волн, можно увидеть, что звук идет медленнее света, и люди привыкли, что звук от события приходит чуть позже изображения. Любой, кто был на концерте на стадионе, в парке или другой большой площадке, знает, что звук певца и движение его губ на сцене (или на видео экранах) заметно не совпадают в связи с отставанием звука. Поэтому ситуация дома, противоположная правде – видео отстает от звука – создает крайне неестественный эффект, запутывающий мозги.

Персонал BBC Research & Development изучил разницу в восприятии синхронизации аудио-видео между стандартной и высокой четкостью. Первые результаты показали, что некоторые больше чувствительны к синхронизации в HD, выявив необходимость минимизировать проблемы синхронизации. Работа представлена в AES Convention Paper 7518, *Factors affecting perception of audiovideo synchronization in television* Andrew Mason и Richard Salmon.

Многие STB имеют конфигурируемую задержку в оптических аудио выходах, позволяя задерживать звук шагами по 20 мс (полкадра). Однако без опорного сигнала, на котором можно основывать свои оценки, зрителям приходится опираться на синхронизацию изображения и речи в ТВ программах, которая субъективна, неточна и, конечно, может быть неверной в момент вещания. BBC имеет строгие рекомендации относительно приемлемой синхронности видео и звука, но они неизбежно конечны. Допускается расхождение звука относительно видео – от опережения на 10 мс до отставания на 20 мс; в нормальных условиях это незаметно для зрителя, но недостаточно для чувствительной настройки оборудования.

Синхронизирующий тест-сигнал BBC

Учитывая, что BBC HD передает программы только в определенное время суток, было принято решение передавать синхронизирующий тест-сигнал в рекламном цикле, который воспроизводится в другое время. В дневное время каждые два часа в течение 90 секунд передается опора синхронизации, позволяющая зрителям настроить оборудование. Разработка этого теста и процесс проверки того, что вещание идет синхронно с гораздо более строгими допусками, чем обычно, потребовали значительных усилий.

К передаче тест-сигнала было несколько уникальных требований. Прежде всего, тест должен проводиться «на глаз», визуально, без специального оборудования. Кроме того, для того чтобы мы сами могли сделать точные измерения, требовались автоматические измерения с точностью до миллисекунд. Наконец, было бы идеально, если бы измерительный прибор для этих точных измерений был электрически прост. Это значит, что тестовое оборудование может производиться в самой организации, и потенциально детали конструирования таких устройств могли бы даже быть доступны публике.

Отправной точкой стала работа BBC Research & Development, ранее разработавшего синхронизирующую тестовую последовательность под названием *digital clapperboard*. На Рис. 8 изображен стоп-кадр из модифицированной версии этой последовательности BBC HD.

Сигнал состоит из трех первичных элементов. Вверху справа – полоса, идущая вниз экрана, пока не дойдет до статичной линии прямо над центром изображения. Полоска касается линии одновременно с тем, когда слышен звуковой «щелчок», затем она возвращается вверх дисплея. Второй элемент состоит из трех белых горизонтальных линий, каждый по пять видео строк, которые появляются на один кадр одновременно со звуковым щелчком. Третий – горизонтально расширяющаяся полоса, идущая через временную шкалу, размеченную в видео кадрах. При корректной синхронизации она доходит до центра экрана во время звукового щелчка.

Горизонтальную шкалу лучше всего использовать для измерения на глаз. Можно проверить контрольную метку справа (звук отстает на 11 кадров) и посмотреть, слышен ли щелчок до того, как полоса дойдет до этой точки. Предположим, что слышен, тогда перейдите влево к следующей метке и проведите тот же тест. Продолжая таким образом, вы дойдете до точки, где полоска касается метки приблизительно одновременно с щелчком или чуть раньше. С помощью этого метода большинство пользова-

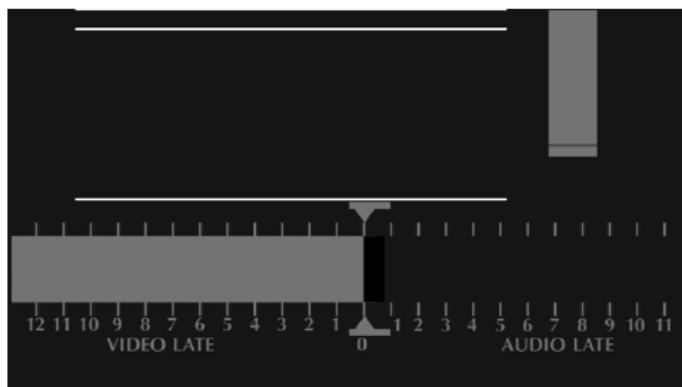


Рис. 8
Синхронизирующий тест-сигнал BBC HD

телей могут идентифицировать сдвиг синхронизации с точностью до полукадра (20 мс).

Следует упомянуть происхождение звукового щелчка. Это запись удара двух деревяшек. После серии тестов BBC Research & Development этот звук оказался самым эффективным для субъективных тестов синхронизации, главным образом из-за сильных переходных процессов в начале. Имея задачу автоматического измерения в этом тесте, возможно, проще было бы использовать искусственно сгенерированный тон, однако требование измерения «на глаз» сделало этот звук лучшим выбором.

Конечно, передача синхронизирующего тест-сигнала по одному из ведущих каналов BBC требует тщательного планирования, чтобы тест-сигнал приходил к зрителю синхронно. Было бы досадной ошибкой передавать синхронизирующий тест-сигнал, который сам не является синхронным. Было проведено тщательное тестирование всей цепи передачи для гарантии синхронизации этого сигнала с точностью до миллисекунд.

Для точных измерений синхронизирующего сигнала использовалось электронное тестовое оборудование. Используя аналоговый аудио вход для измерения щелчка и «световое перо» для измерения белых горизонтальных линий, мигающих на дисплее, выводится и отображается смещение между ними в миллисекундах.

Поскольку этот метод измерения использует дисплей и декодированную версию звука, надо хорошо изучить задержки этих устройств. Из-за задержек в ЖК и плазменных дисплеях, даже профессиональных, следует использовать дисплей ЭЛТ и предусмотреть кадр задержки из декодера Dolby E (если сигнал в кодировке Dolby E).

Первой проблемой было получение самого тест-сигнала, вставленного в рекламный цикл с идеальной синхронизацией. Синхронизирующий тест-сигнал был произведен и записан на ленту. Затем он был загружен в монтажную аппаратную и вставлен монтажером в рекламу. По завершении видео монтажа реклама была передана в аппаратную перезаписи для доработки звука. Там весь цикл был закодирован в Dolby E и записан на ленту (конечно, с задержкой на кадр видео для компенсации кодирования Dolby E). Эта лента вернулась в монтажную аппаратную, где была воспроизведена и измерена, дав значение ошибки синхронизации, которое было возвращено в аппаратную перезаписи для смещения звука соответствующим образом. Причина этих движений туда и обратно в том, что дисплей ЭЛТ HD был только в монтажной (и надежные измерения можно было делать только там), а единственным местом для кадровой настройки синхронизации была аппаратная перезаписи, где системы позволяли перемещать звук по выборкам. Наконец, полная копия рекламного цикла была записана на ленту и измерена по части синхронизации.

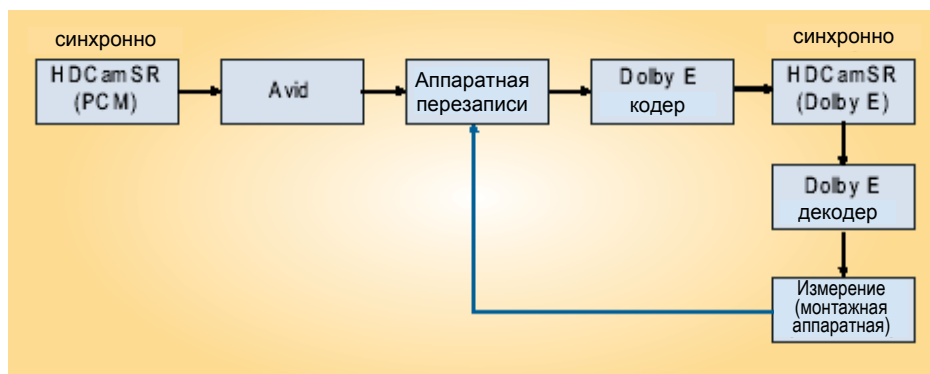


Рис. 9
Производство синхронизирующей версии рекламного цикла HD

Затем была протестирована цепь воспроизведения. Лента была загружена в эфирный сервер и проведены различные измерения в цепи эфирного сигнала, в эфирном центре и далее в центральной зоне связи. Кодеры распространения не могли тестироваться в эфире, т.к. это потенциально могло внести ошибку в синхронизацию транслируемого сигнала, поэтому для измерений использовался дублирующий набор кодеров в Kingswood Warren (KW) BBC Research & Development. Цепь воспроизведения и передачи оказалась синхронизированной с допуском менее 2 мс, хотя кодеры распространения внесли некоторое смещение. Измеренная величина этого смещения была использована для регулировки задержки видео в кодере распространения, и мы были готовы транслировать тест-сигнал.

В вещании есть старая поговорка, что сигнал был «нормальным, уходя от меня», подразумевая, что любая ошибка вызвана в приемном конце. Целью синхронизирующего тест-сигнала BBC HD было сделать шаг вперед и гарантировать, чтобы он был «нормальным, приходя к вам». Другими словами, сигнал должен быть корректно синхронизирован во время приема с эфира. Чтобы это проверить, тест-сигнал передавался и измерялся с эфира в Kingswood Warren. В этом тесте использовалось самое надежное и точное измерение; анализатор транспортного потока проверял значения Presentation Time Stamp (PTS) транспортного потока MPEG, позволяя идентифицировать точную синхронизацию видео вспышки. Поскольку PTS охватывает всего один видео кадр, но множество аудио выборок, для соответствующего измерения звука было недостаточно PTS начала звукового щелчка. Однако путем проверки декодированной формы сигнала можно найти точное число аудио выборок в блоке PTS и (зная частоту дискретизации звука) точно измерить разницу во времени между щелчком и вспышкой. В тесте с эфира это смещение оказалось 0.9 мс – отличный результат.

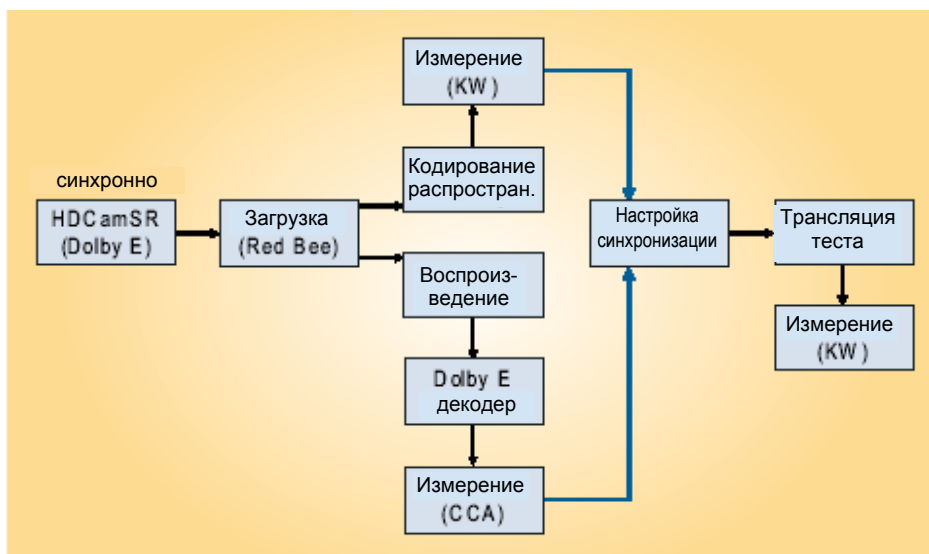


Рис. 10
Измерение синхронизации в цепи вещания

Этот синхронизирующий тест-сигнал BBC HD продолжает передавать ежедневно по многу раз, и зрители теперь могут протестировать синхронизацию на домашнем оборудовании. Тест объясняется в блогах мной и Andy Quested, начальником технологического отдела BBC HD, и отзывы зрителей крайне позитивны. Дополнительно, это привело к снижению числа полученных замечаний, касающихся синхронизации канала и, хотя проблемы в отдельных программах, конечно, иногда случались, мы уверены, что цепь вещания синхронизирована и продолжаем побуждать технологических партнеров проверять синхронизацию при каждом изменении в устройствах этой цепи, чтобы в будущем синхронизация оставалась корректной.

Резюме

В захватывающем мире телевидения высокой четкости многие технологии, сделавшие возможным HDTV – такие как Dolby E для транспортировки звука для вещателя и большие ЖК и плазменные дисплеи для зрителей – вызывают трудности в синхронизации, новые и для вещателя, и для зрителя. Лишь путем тщательного рассмотрения вопросов, связанных с применением таких технологий, вместе с полным тестированием всех систем, можно достичь успешной реализации. Результаты, однако, стоят времени и усилий. BBC HD предоставляет зрителям контент высшего качества с невиданной доселе детализацией, а высококачественный объемный звук дает ощущение полного погружения. Было много трудностей с тем, чтобы все работало нормально, и, несомненно, они будут и дальше, но так как в будущем HD станет нормой, полученные сейчас уроки будут полезны в ближайшие годы.

Официальное уведомление

Автор хотел бы поблагодарить Andy Quested, начальника технологического отдела BBC HD, за спонсирование этого проекта и общую поддержку. Персонал Red Bee Media, Siemens, BBC Resources и различных департаментов BBC провел большую работу и обеспечил поддержку описанных здесь мероприятий, а такие поставщики как Dolby и Tektronix великодушно пожертвовали своим временем и советами. Наконец, коллеги из BBC Research & Development, в т.ч. Andrew Mason и Trevor Ware, обеспечили профессиональную компетенцию и помощь, а также разработку *Digital Clapperboard*, ставшего основной синхронизирующего тест-сигнала BBC HD.



Rowan de Pomerai в 2007 г. окончил Университет Йорка (Англия), получив степень магистра наук по электротехнике и медиа технологиям. Поступил в BBC Research & Development, где работал с технологиями машинного зрения в группе Production Magic, разрабатывающей передовые системы взаимодействия для телеведущих и повышения эффективности использования компьютерной графики.

Затем г-н de Pomerai внес вклад в систему безленточного производства Ingeg, прежде чем взял бразды анализа многоканального звука BBC HD. Помимо лучшего понимания технологии, необходимой для BBC HD, дискуссии с подкомитетом EBU EHDF и другими британскими вещателями привели к консенсусу о совместимых путях работы разных вещателей.

Прежде чем BBC переедет на север в Солфорд, в Большой Манчестер, Rowan de Pomerai будет участвовать в разработке дополнительной научно-исследовательской лаборатории в Манчестере, которая будет работать совместно с существующей лабораторией, продолжая возглавлять следующее поколение технологии вещания.