

EBU listening tests on Internet audio codecs

G. Stoll

IRT

F. Kozamernik

EBU

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.

Тестовые прослушивания EBU по звуковым кодекам для Интернета

Появление интернетовских мультимедиа стимулировало развитие усовершенствованных технологий компрессии звука и видео. В статье приводятся результаты субъективных оценок, данных EBU, коммерчески доступным звуковым кодекам с низкой скоростью передачи в конце 1999 – начале 2000 г. Для оценки этих кодеков был специально разработан новейший метод тестирования под названием MUSHRA: сейчас он принят за стандартный метод оценки в EBU и в ITU-R.

За последние десять лет технология звукового кодирования достигла огромного прогресса. В областях радиовещания, средств хранения (например, CD, MiniDisc, CD-ROM, DVD) и, в частности, Интернета, было разработано и успешно использовано множество усовершенствованных схем кодирования. Они имели значительные преимущества в смысле снижения скорости передачи и качества воспроизводимой речи и музыки.

Однако наибольший прогресс в звуковом кодировании с низкой скоростью произошел совсем недавно благодаря быстрому развитию Интернета, где требуются крайне низкие скорости передачи при сохранении субъективного качества оригинального сигнала. Цифровые сети радиовещания и звуковые системы автоматизации сейчас почти полностью основаны на форматах звукового кодирования с относительно низкой скоростью. В ближайшие несколько лет торговля и распространение музыки on-line могут превзойти по разделу рынка традиционные физические каналы распространения.

РЫНОК ЗВУКОВЫХ КОДЕКОВ

Вслед за развитием первых цифровых кодеков, например, NICAM [1] и ISO/IEC MPEG 1 [2], успешно применяемых в цифровом вещании, появился широкий ряд различных звуковых кодеков с ультранизкой скоростью передачи, специально предназначенных для рынка Интер-нета. В Таблице 1 приведен предварительный перечень наиболее важных кодеков. Из-за лимита пропускной полосы Интернета были разработаны эффективные методы компрессии.

Нынешние стандарты звукового кодирования разрабатывались с относительно простой целью: достичь как можно более низкой скорости передачи данных при сохранении субъективного качества оригинального сигнала. Применять их предполагалось в цифровом вещании (в т.ч. DAB и DVB), CD-ROM, DVD и т.д.

Поскольку эти каналы предполагают равномерно распределенные одиночные ошибки, уменьшение их количества было ограничено простыми кодами обнаружения ошибок, позволяющих заглушение или интерполяцию ошибочных кадров в приемнике. В Интернете ошибочные характеристики являются по натуре «блоками», а скорости передачи радикально ниже, поэтому для оптимизации качества звука при очень низкой скорости требовались иные конструкторские подходы. Поэтому специально для Интернета было разработано множество новых схем кодирования.

Самые совершенные системы занимают небольшую долю кодированного сигнала – по времени и частоте – и передают эти элементы с чередованием среди множества дейтаграмм передачи. Таким образом, слышимый эффект потери или задержки пакета можно минимизировать путем интерполирования данных между соседними пакетами. Для большей устойчивости передаваемого потока можно добавить некоторое резервирование и посылать критические элементы по несколько раз.

Таблица 1: Наиболее популярные системы передачи звуковых и/или видео потоков (состояние: июнь 1999)

	Название продукта	Компания	Аудио / видео	Платформа
1	Advanced Audio Coding (AAC) – MPEG-4		A	
2	Audioactive	Telos	A	Win, Mac
3	AudioSoft	Eurodat	A	Win, Mac
4	Destiny Internet	Destiny Software	A	Win
5	Command Engine (DICE)		I	
6	I-Media	Q-Design	A	Win
7	Intel Streaming Media	Intel	A/V	Win
8	Internet Wave	Vocaltec	A	Win
9	InterVU	InterVU	A/V	Win, Mac
10	MP3		A	Win, Mac
11	Netscape Media	Netscape	A/V	Win, Mac, Unix
12	QuickTime	Apple	A/V	Win, Mac
13	RealAudio	Progressive Networks	A/V	Win, Mac, Unix
14	ShockWave	Macromedia	A/V	Win, Mac
15	Stream Works	Xing Technologies	A/V	Win, Mac, Unix
16	TrueSpeech	DSP Group	A	Win
17	ToolVox	VoxWare	A	Win, Mac, Unix
18	VDOLive	VDOnet	A/V	Win, Mac
19	Vosaic	Univ. of Illinois	A/V	Win, Mac, Unix
20	Win Media-Player	Microsoft	A/V	Win

Для усовершенствованных кодеков существуют дополнительные требования:

- ⇒ возможность монтажа «вырезанием и вставкой» прямо в кодированном формате без слышимого ухудшения;
- ⇒ возможность передачи одного и того же файла с разной скоростью для динамической адаптации к пропускной способности и перегруженности сети.

По мере организации контента в интерактивные базы данных возрастают требования к эффективным методам поиска и категоризации этого контента и его пакетирования для потребления. Необходимо индексировать и создавать метаданные, использующие инструменты звукового анализа, которые классифицируют многие параметры звукового сигнала.

Эти инструменты могут определять высоту, динамику, ключ, содержит ли сигнал голос или музыкальный инструмент, насколько один голос похож на другой и т.д. Кодированные форматы должны поддерживать достаточную классификацию. Благодаря принятию *Quick-Time Apple* за основу формата файлов и передачи потоков ISO MPEG-4 определена твердая общая стандартная архитектура для следующего поколения мультимедийных систем.

Появление такой массы звуковых кодеков дало радикально новый подход к стандартизации. Стандарты стали менее важны, поскольку декодеры (обычно простые и не требующие большой мощности обработки) могут загружаться (возможно, в форме Java applet) в машину клиента вместе с контентом.

В среде Интернета уже не требуется единой системы кодирования, как в традиционном вещании. Действительно, RealAudio уже не единственная и даже не главная звуковая технология в Интернете.

С точки зрения пользователя, неважно, какой используется звуковой кодек – до тех пор, пока сопоставимы технические и коммерческие характеристики. Решение об используемой схеме кодирования принимают провайдеры услуг. Одно из преимуществ такого «нерегулируемого» подхода – возможность регулярного обновления декодеров по мере развития технологии. Пользователь может постоянно иметь последнюю версию декодера. Звуковые плееры могут храниться в сменных устройствах, а не на жестком диске.

Браузеры или оперативные системы обычно поставляются с несколькими звуковыми plug-in'ами. Новые plug-in'ы легко загружаются. Пользователь уже не ограничен использованием plug-in'ов, имевшихся вместе с браузером, а может установить любой новый декодер.

Бизнес-модель передачи звуковых потоков может измениться вследствие появления многоабонентского вещания. Сегодня ISP назначают цену за звуковой поток. При многоабонентском вещании один поток будет выдаваться нескольким пользователям. Затем пользователю назначат цену согласно оккупации используемых серверов. Из-за высокой конкуренции на рынке звуковых декодеров звуковые стримеры станут бесплатными.

Оценки качества звука

Одна из принципиальных характеристик современных интернетовских звуковых кодеков – их большое разнообразие в смысле звукового качества при разных скоростях передачи и разных звуковых сигналах. Кроме того, они различны по цене, требуемой вычислительной мощности (в реальном времени), сложности обработки, надежности сервера, качеству услуг (устойчивости к ошибкам), масштабируемости и положению на рынке.

Главная причина этого кроется в отсутствии стандарта. Даже в семействе MPEG внедрение звуковых кодеров не стандартизировано, что дает возможность внедрения на рынке самых разнообразных вариантов. Поскольку кодер не стандартизирован, возможны некоторые усовершенствования при неизменности пользовательского терминала декодера.

Аналоговые звуковые системы измеряются по отношению «сигнал-помеха» (S/N) и частотной полосе и проявляют некоторые гармонические искажения и широкополосные помехи. Типичные артефакты цифровых интернетовских звуковых кодеков – не «гармонические», обычно менее приятные для слушателя и часто более заметные и раздражающие.

Для оценки качества звукового сигнала в контролируемых условиях с возможностью повтора самым надежным методом признаны субъективные тесты прослушивания рядом квалифицированных слушателей и с выборкой звуковых последовательностей. Для оценки высококачественных цифровых звуковых кодеков, проявляющих небольшое ухудшение сигнала, используется Рекомендация ITU-R BS.1116-1 [3]. Однако в Интернете¹ должны быть приемлемы и неизбежны кодеки среднего или даже низкого качества. Поэтому компромиссы в качестве звука просто необходимы. Метод тестирования, определенный в BS.1116-1, не годится для оценки столь низкого качества; обычно он слишком чувствителен, что приводит к группированию результатов в самом низу шкалы.

По этой причине проектная группа EBU V/AIM предложила новый метод тестирования под названием MUSHRA (Многостимульный тест со скрытым эталоном и анкерами) [4]². Этот метод был разработан для надежного и повторяющегося измерения качества звука сигналов среднего качества. Метод находится в процессе стандартизации ITU-R [5].

Метод EBU MUSHRA

Независимо от используемого метода, проведение тестов субъективной оценки – процесс обычно очень сложный, требует много времени и средств, тщательной подготовки и выполнения, а затем статистической обработки результатов³. Каждый из этих этапов вкратце описан ниже и контрастирует с Рекомендацией ITU-R BS.1116-1.

Как работает MUSHRA

Если BS.1116-1 применяет «дважды слепой трехстимульный метод тестирования со скрытым эталоном», то MUSHRA является методом «дважды слепым многостимульным» со скрытым эталоном и скрытыми анкерами.

Вариант MUSHRA считается наиболее подходящим для оценки средних и сильных ухудшений.

MUSHRA имеет также преимущество в том, что обеспечивает абсолютное измерение качества звука кодека, которое прямо сопоставимо с эталоном, т.е. оригинальным звуковым сигналом, а также с анкерами. Такое абсолютное измерение необходимо для возможности сравнения результатов с любыми другими подобными тестами. Если эталон узкополосный (скажем, 7 кГц), то тестируемые кодеки будут оцениваться выше, что иногда может привести к обманчивым результатам (например, результаты тестов NADIB).

В тестах с небольшими ухудшениями экспертов просят обнаружить и оценить воспринимаемые артефакты, присутствующие в сигнале. Скрытый опорный сигнал помогает об-

¹ Другими сферами, где могут потребоваться кодеки с низкой скоростью передачи – из-за низкой пропускной способности – и которые поддерживают среднее качество звука, являются цифровое АМ (т.е. DRM), цифровое спутниковое вещание, комментаторские схемы на радио и ТВ, службы «аудио по требованию» и аудио по коммутируемым линиям.

² Это неизящное название было согласовано большинством членов V/AIM, несмотря на некоторые оговорки насчет эстетической привлекательности акронима. Однако, учитывая большие ухудшения, плохое качество звука и необходимость неприятного и утомительного прослушивания многочисленных тестовых элементов, это название уже не кажется столь неадекватным.

³ Хотя в последнее время было разработано несколько таких методов (например, новый стандарт ITU-R PEAQ, успешно испытанный на высоких уровнях звукового качества), они пока недостаточно зрелые и надежные для применения в крупномасштабных тестах с низким и средним качеством звука, как, например, описанные в данной статье.

наружить эти артефакты. С другой стороны, в тестах с относительно сильными ухудшениями эксперт обычно не должен испытывать затруднений с обнаружением артефактов, поэтому скрытый эталон необязателен. Однако трудности возрастают, когда эксперт должен классифицировать относительные эффекты различных артефактов. Экспертов просят оценить степень «предпочтения» одного типа артефакта по сравнению с другим.

Так как MUSHRA предназначен для оценки средних и больших ухудшений, применение высококачественного эталона (как в BS.1116-1) остается под вопросом. Ожидается, что дистанция восприятия между эталоном и тестовыми элементами будет довольно большой. С другой стороны, дистанции восприятия между тестовыми элементами, принадлежащими к различным системам, могут быть очень малы. Таким образом, если сравнивать каждую систему только с эталоном, то различия между любыми двумя системами могут быть слишком малы, чтобы отличаться между собой. Следовательно, MUSHRA использует не только высококачественный эталон, но и прямое двустороннее сравнение между различными системами. Эксперт может по желанию переключаться с опорного сигнала на любую тестируемую систему.

Путем сопоставления в BS.1116-1 эксперта просят оценить ухудшения “B” по сравнению с известным эталоном “A”, а потом оценить “C” по сравнению с “A”, где B и C – наугад обозначенные скрытый эталон и тестируемый объект.

Поскольку эксперты могут непосредственно сравнивать ухудшенные сигналы, им довольно легко обнаружить различия между ухудшенными сигналами, а потом их соответственно классифицировать. Это дает высокую степень разрешения в оценках систем. Однако важно заметить, что эксперты будут классифицировать данную систему, сравнивая ее с опорным сигналом, а также с другими сигналами в каждом тесте.

В тестах EBU применялась система воспроизведения с компьютерным управлением, хотя можно использовать и другие механизмы с множеством CD или магнитофонов. В данном сеансе эксперту была представлена последовательность тестов. В каждом тесте была представлена опорная версия, а также все версии тестового сигнала, обработанного тестируемыми системами.

Например, если тест включает семь звуковых систем, эксперт может мгновенно переключаться как минимум между десятью сигналами (один «известный» эталон + семь ухудшенных сигналов + минимум один «скрытый» анкер). В зависимости от теста можно использовать более одного анкера.

При тестировании BS.1116-1 эксперты обычно начинают тест с процесса обнаружения, а затем переходят к процессу классификации. В MUSHRA эксперты обычно начинают сеанс с грубой оценки качества, затем идет процесс сортировки или ранжирования и, наконец, процесс классификации. Поскольку ранжирование происходит непосредственным образом, результаты здесь более согласованны и надежны, чем в методе BS.1116-1.

Процесс классификации

Шкала, используемая в процессе MUSHRA, отличается от пятиградусной шкалы BS.1116-1, данной в Рекомендации ITU-R BS.562 [6]. В MUSHRA эксперты должны

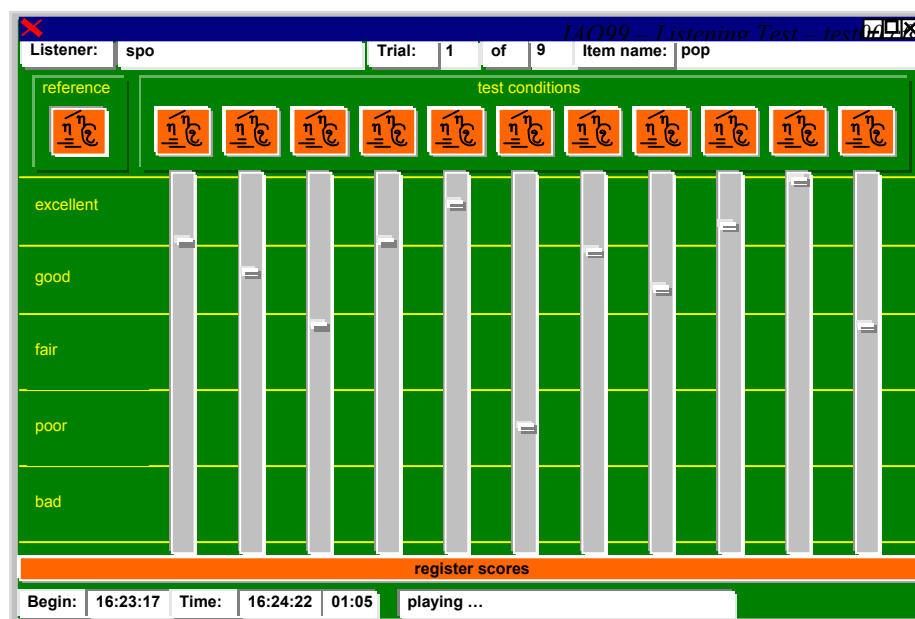
отметить сигналы в соответствии с 5-интервальной постоянной шкалой качества (CQS)⁴. CQS состоит из идентичных графических шкал (обычно длиной 10 см или выше, с внутренним числовым обозначением от 0 до 100), которые делятся на пять равных интервалов со следующими дескрипторами сверху вниз:

- ⇒ Отлично
- ⇒ Хорошо
- ⇒ Удовлетворительно
- ⇒ Плохо

⁴ Эта шкала применяется и для оценки качества изображения (Рекомендация ITU-R BT.500-8 [7]).

⇒ Неудовлетворительно

Слушатели записывают свои оценки качества в соответствующей форме; например, с помощью ползунков на электронном дисплее (см. *Рис. 1*) или посредством бумаги и ручки.



Опорные сигналы

В качестве опорного сигнала MUSHRA использует необработанный оригинальный программный материал с *полной частотной полосой*. Кроме того, должен использоваться хотя бы один дополнительный сигнал (*анкер*) – версия необработанного сигнала с фильтрацией нижних частот. Частотная полоса этого сигнала – 3.5 кГц. В зависимости от контекста теста можно использовать дополнительные анкеры. Можно использовать и другие типы анкеров, представляющие типы ухудшений, подобные тестируемой системе. Эти типы могут включать, например, следующие возможности:

- ⇒ ограничение частотной полосы 7.0 или 10 кГц;
- ⇒ уменьшенное стерео изображение;
- ⇒ дополнительный шум;
- ⇒ выпадения;
- ⇒ потери пакетов.

В тестах EBU использовались две *анкерные* последовательности, т.е. версии необработанного сигнала с фильтрацией нижних частот (3.5 и 7 кГц). В BT.1116-1 известный эталон всегда присутствует как стимул “А”: одновременно присутствуют и скрытый эталон и объект, но они обозначаются наугад как “В” и “С”.

Пользовательский интерфейс

По сравнению с ITU-R Rec. BS.1116-1 метод MUSHRA имеет преимущество в одновременном отображении всех сигналов для одного тестового элемента при данной скорости передачи (см. *Рис. 1*). Поэтому эксперты могут непосредственно проводить между ними любое сравнение. Времени на этот тест требуется гораздо меньше, чем на тесты BT.1116.

Рис. 1 показывает пользовательский интерфейс, который использовался для каждого сеанса. Кнопки представляют эталон (специально отображаемый сверху слева) и все тестируемые кодеки, включая скрытый эталон и оба обработанных эталона, т.е. два анкера. Под каждой кнопкой, кроме кнопки для эталона, есть ползунок, используемый для

Аббревиатуры

AAC	<i>(MPEG—2/4) Advanced Audio Coding</i> Улучшенное аудио кодирование	ISDN	<i>Integrated services digital network</i> Цифровая сеть с комплексными услугами
AIFF	<i>(Apple) Audio Interchange File Format</i> Формат аудио файла для внутреннего обмена	ISO	International Organization for Standardization Международная организация стандартизации
ASF	<i>(Microsoft) Advanced Streaming Format</i> Улучшенный формат передачи потоков (ITU-R	<i>International Telecommunication Union, Radio-communication Sector</i> Международный союз связи, сектор радиосвязи, сектор радиосвязи, сектор радиосвязи
CFI	<i>Confidence interval</i> Доверительный интервал	MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i> Группа специалистов по движущимся изображениям
CQS	<i>Continuous quality scale</i> Шкала постоянного качества	MUSHRA	<i>(EBU) MUlti Stimulus test with Hidden Reference and Anchors</i> Многостимульный тест со скрытым эталоном и анкерами
DR	<i>Danmarks Radio (Denmark)</i> Радио Дании (Дания)	NICAM	<i>Near—instantaneous companding and multiplexing</i> Практически мгновенное компандирование и мультиплексирование
DVB	<i>Digital Video Broadcasting</i> Цифровое телевизионное вещание	NOS	<i>Nederlanddse Omroep Stichting (Holland)</i>
FhG—Ils	<i>Fraunhofer Gesellschaft — Institut fur Integrierte Schaltungen</i>	NRK	<i>Norsk rikskringkasting (Norway)</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> Международная электротехническая комиссия	SR	<i>Sverges Television Ab (Sweden)</i>
IRT	<i>Institut fur Rundfunktechnik GmbH</i> (German broadcast engineering reseach centre) Германский технический исследовательский центр вещания		

классификации качества тестового элемента в соответствии с постоянной шкалой качества.

Тестируемые сигналы назначаются наугад для каждого тестового элемента. Кроме того, тестовые элементы рандомизированы для каждого предмета в сеансе. Во избежание логических эффектов каждый эксперт проводит пять сеансов в случайном порядке.

Выбор экспертов

Как и в BS.1116-1, слушатели-эксперты (т.е. оценщики) должны иметь определенный опыт прослушивания, критический к звуковым последовательностям. Хотя ухудшения, производимые интернетовскими звуковыми кодеками, обычно очень сильные и потому довольно легко обнаруживаются, опыт показывает, что опытные слушатели дают более быстрые и надежные результаты, чем неопытные. Однако неопытные слушатели обычно становятся довольно чувствительны к различным типам артефактов после их частого появления. Существуют методы предварительного и последующего отсеивания экспертов, неспособных достаточно точно отличить различные артефакты.

Этап обучения

Для получения надежных результатов перед тестированием необходимо обучить экспертов на специальных учебных сеансах. Обучение должно хотя бы ознакомить эксперта с полным диапазоном и природой ухудшений и всеми тестовыми сигналами, используемыми во время тестирования. Это можно делать несколькими методами: при помощи простой системы воспроизведения на пленке или интерактивной системы с компьютерным управлением.

Тестовый материал

Выбор тестового материала критичен для успеха тестирования и является делом непростым. Метод MUSHRA использует ряд обычных необработанных вещательных программных последовательностей – состоящих из одной речи, смеси речи, музыки и фоновых шумов, а также одной музыки. В отличие от этого, BS.1116-1 использует очень критические тестовые последовательности, специально выбранные для «напряжения» или «разлома» тестируемого кодека и обнаружения слышимых артефактов. Длина последовательностей обычно не должна превышать 20 сек, чтобы не утомлять слушателей и уменьшить общую продолжительность тестирования.

Для обнаружения различий между тестируемыми системами материал должен быть достаточно критическим для каждой системы. Поиск подходящего материала часто занимает массу времени; однако, если не найти для каждой системы действительно критический материал, тесты могут не обнаружить различия между системами и оказаться неубедительными. С другой стороны, не следует использовать чересчур критические сигналы (например, не «натуральные», а синтетические вещательные программы), специально предназначенные для разлома определенной системы.

Следует позаботиться о том, чтобы художественное или интеллектуальное содержание программной последовательности не было ни столь привлекательным, ни столь неприятным, ни столь скучным, чтобы отвлекать внимание экспертов от обнаружения ухудшений. Выбор должен отражать ожидаемую вероятность присутствия каждого типа программного материала в реальном вещании⁵.

Для подготовки тестовых пленок для субъективного сравнения громкость каждого фрагмента должна быть субъективно отрегулирована перед записью на тестовый носитель группой квалифицированных экспертов – так называемой «группой специалистов». Это

⁵ Это условие может быть трудновыполнимо, так как характер вещательного материала может различаться между станциями и со временем меняться по музыкальным стилям и предпочтениям.

позволит использовать данный носитель в дальнейших тестах с постоянным усилением для всех программных элементов.

Группа квалифицированных экспертов должна согласовать относительные звуковые уровни отдельных тестовых фрагментов для всех последовательностей. Кроме того, специалисты должны согласовать абсолютный воспроизводимый уровень звукового давления для последовательности в целом относительно уровня выравнивания. В начале каждой записи можно включить тоновый пик⁶ на уровне сигнала выравнивания, чтобы настраивать выходной уровень выравнивания по входному уровню выравнивания, требуемому для канала воспроизведения [8]. Тоновый пик служит только для выравнивания: во время теста его повторять нельзя. Звуковой программный сигнал должен регулироваться таким образом, чтобы амплитуды пиков лишь изредка превышали пиковую амплитуду максимально допустимого сигнала, определенного в Рекомендации ITU-R BS.645 [9] (синусоидальная волна 9 dB над уровнем выравнивания).

Количество элементов в тесте может быть разным, но не должно быть слишком большим, чтобы тестирование не было чересчур долгим. Разумное количество примерно 1.5-кратно количеству тестируемых систем и составляет минимум пять элементов на систему. Звуковые последовательности обычно длятся 10-20 сек. Все системы следует тестировать с одинаковым набором тестовых элементов.

Характеристики многоканальной системы, при условии двухканального воспроизведения, следует тестировать при помощи опорного микширования с уменьшением числа каналов. Хотя можно считать, что постоянное микширование ограничивается некоторыми обстоятельствами, оно, безусловно, является наиболее разумным вариантом для длительного использования в вещании. Уравнения для опорного микширования [10] следующие:

$$L_0 = 1.00L + 0.71C + 0.71L_s$$
$$R_0 = 1.00R + 0.71C + 0.71R_s$$

Понятно, что предварительный выбор подходящих тестовых фрагментов для критической оценки характеристик опорного двухканального микширования должен основываться на воспроизведении программного материала с микшированием на два канала.

Условия прослушивания

Тестовые прослушивания следует проводить в строго контролируемых условиях согласно разделам 7 и 8 Рекомендации ITU-R BS.1116-1. Разрешаются как наушники, так и громкоговорители. Однако использовать в одном тестовом сеансе и то, и другое не разрешается. Все эксперты должны использовать одинаковый тип преобразователя.

В течение сеанса эксперту разрешается проводить индивидуальную настройку уровня прослушивания в диапазоне ± 4 dB относительно опорного уровня, определенного в BS.1116-1. Баланс между тестовыми элементами в одном тесте должен обеспечиваться панелью выбора таким образом, чтобы экспертам не надо было настраивать каждый элемент отдельно. Не следует разрешать настройку уровней внутри одного элемента.

Статистический анализ

Статистический анализ полученных результатов – самая требовательная задача. Его цель – применение некоторых математических операций к полученным сырым данным и представление результатов в удобном виде.

Оценки для каждого условия теста линейно преобразуются из мер длины на графике в нормализованные баллы от 0 до 100, где 0 соответствует нижней части шкалы (неудовлетворительное качество). Затем следующим образом вычисляются абсолютные баллы.

⁶ Например, 1 кГц, 300 мс, -18 dBFS

Вычисление средних арифметических из нормализованных баллов всех слушателей, оставшихся после отсеивания, дает средние субъективные баллы (MSS).

Первый шаг в анализе результатов – вычисление среднего балла, \bar{u}_{jk} для каждой презентации:

$$\bar{u}_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijk} \quad (1)$$

где u_i = балл наблюдателя i для данного тестовых условия j и последовательности k
 N = количество наблюдателей.

Подобным образом можно вычислить и общие средние баллы \bar{u}_k и \bar{u}_j для каждого тестового условия и каждой тестовой последовательности.

В представлении результатов тестирования все средние баллы должны иметь соответствующий доверительный интервал, взятый из стандартного отклонения и размера каждого образца.

Предлагается использовать 95% доверительный интервал, данный следующим образом:

$$[\bar{u}_{jk} - \delta_{jk}, \bar{u}_{jk} + \delta_{jk}]$$

где:

$$\delta_{jk} = 1.96 \frac{S_{jk}}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Стандартное отклонение для каждой презентации, S_{jk} , дано следующим образом:

$$S_{jk} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{u}_{jk} - u_{ijk})^2}{(N-1)}} \quad (3)$$

С вероятностью 95% абсолютное значение разницы между экспериментальным и «настоящим» средним баллом (при очень большом количестве наблюдателей) будет меньше 95% доверительного интервала, при условии, что распределение индивидуальных баллов удовлетворяет определенным требованиям.

Подобным образом можно вычислить стандартное отклонение S_j для каждого тестового условия. Однако при использовании небольшого количества тестовых последовательностей это отклонение будет больше подвержено влиянию различий между тестовыми последовательностями, чем между экспертами, участвующими в оценке.

Как показывает опыт, баллы, полученные для разных тестовых последовательностей, зависят от критичности тестового материала. Более полное понимание характеристик системы можно получить путем отдельного представления результатов для разных тестовых последовательностей, а не общими средними баллами по всем последовательностям, использованным в оценке.

Для каждого тестового параметра должен быть дан средний и 95% доверительный интервал статистического распределения оценок.

Тесты EBU

Были протестированы следующие звуковые кодеки:

- ⇒ Microsoft Windows Media 4
- ⇒ MPEG-2 AAC (внедрен FhG-IIS)
- ⇒ MP3 (близок к MPEG-1 и MPEG-2 Layer III, внедрен Opticom)
- ⇒ Q-Design Music Codec 2
- ⇒ RealNetworks 5.0
- ⇒ RealNetworks G2
- ⇒ Yamaha SoundVQ

Каждый из этих кодеков был протестирован на пяти скоростях: 16, 20, 32, 48 и 64 кбит/с. Тест был разделен на пять сеансов соответственно пяти использованным скоростям. В каждом сеансе (кроме 4 и 5⁷) тестировались все семь кодеков.

- ⇒ **Сеанс 1:** кодеки 16 кбит/с, моно;
- ⇒ **Сеанс 2:** кодеки 20 кбит/с, стерео;
- ⇒ **Сеанс 3:** кодеки 32 кбит/с, стерео;
- ⇒ **Сеанс 4:** кодеки 48 кбит/с, стерео;
- ⇒ **Сеанс 5:** кодеки 64 кбит/с, стерео.

Часть тестового материала была из прежних тестов интернетовского радио, а часть – совершенно новым материалом. Материал был критическим, но при этом обычным вещательным. Он включал чистую речь, речь вместе с музыкой или фоновыми шумами, а также только музыку. Максимальная длина последовательностей была 17 сек, а обычная – 12 сек.

Для тестов MUSHRA использовались звуковые элементы, показанные в *Таблице 2*. Потoki битов, произведенные тестируемыми кодерами в IRT, были направлены для проверки в T-Nova (Verkom). Скорость для каждого теста была проверена путем вычисления размера кодированного файла в соответствии с длиной последовательности.

Таблица 2: Звуковые элементы, выбранные для тестирования.

	Тип звукового контента	Звуковой элемент	Кем записан	Комментарии
1	Классическая музыка	Моцарт «Реквием» – начало Dies Irae	IRT	Новый элемент
2	Вещательная программа	Женская речь (на голландском языке) и музыка	NOB	Уже использовался группой EBU B/R
3	Вещательная программа	Женская речь (на датском языке)	DR	Уже использовался группой EBU B/R
4	Народная музыка	Шведская народная музыка	SR	Использовался в тестах ITU-R (TG 10/2)
5	Живая вещательная программа	Комментарии по хоккею на льду	IRT	Новый элемент
6	Джаз	Lee Ritenour	GRP-Records	Новый элемент
7	Вещательная программа	Мужская речь (на датском языке)	DR	Уже использовался группой EBU B/R
8	Поп-музыка	Chris Rea – On the beach		Новый элемент
9	Поп-музыка	Susan Vega – Tom's dinner		Уже использовался в прежних MPEG-тестах

Затем все потоки битов декодировались или воспроизводились для субъективной проверки технического качества элементов. Это делалось для того, чтобы обнаружить ошибки, не вызванные процессом кодирования-декодирования. При этом была проведена дополнительная проверка скорости, отображаемой на дисплее декодера или плеера.

⁷ Один из кодеков (т.е. RealAudio 5) не поддерживал 48 и 64 кбит/с и не мог тестироваться в сеансах 4 и 5.

Результаты тестирования

Тестовые прослушивания EBU по схемам звукового кодирования Интернета подтвердили, что методология MUSHRA дает небольшие доверительные интервалы и, следовательно, надежные и стабильные результаты. Тесты также показали, что результаты оценки повторимы и воспроизводимы.

Далее описаны основные результаты каждого сеанса. Основные результаты тестирования представлены на *Рис. 2*. Более подробные результаты содержатся в [4].

16 кбит/с при моно сигнале

Результаты для скорости 16 кбит/с при моно сигнале представлены на *Рис. 2a*. Они показывают, что качество, производимое всеми протестированными кодеками при скорости 16 кбит/с, существенно ниже субъективного качества анкера с фильтрацией нижних частот 7 кГц. Более того, при этой скорости ни один кодек не лучше анкера с фильтрацией 3.5 кГц. Разница между различными кодеками кажется довольно небольшой: градация около 40 в лучшем случае и 25 в худшем.

Однако, глядя на цифры подробных результатов, в частности, на результаты отдельных тестовых элементов для кодеков, становятся очевидны большие различия между кодеками. Например, при скорости 16 кбит/с Q-Design Music Codec 2 дает очень хорошее качество со всеми тестовыми элементами. Качество народной музыки не отличается от анкера с фильтрацией 7 кГц, который находится в диапазоне «хорошего качества». То же происходит и с джазом. Однако кодек Q-Design работает не столь хорошо при наложении на музыку человеческого голоса или в элементах с одной только речью.

20 кбит/с при стерео сигнале

Результаты для скорости 20 кбит/с при стерео сигнале приведены на *Рис. 2b*. Они показывают, что качество, производимое всеми протестированными кодеками, по-прежнему значительно ниже субъективного качества анкера с фильтрацией нижних частот 7 кГц. Как и в случае 16 кбит/с моно, качество 20 кбит/с при стерео сигнале также ниже анкера 3.5 кГц.

По сравнению с результатами сеансов 1 и 2 (т.е. *Рис. 2a* и *2b*) субъективное качество стерео сигнала 20 кбит/с для большинства протестированных кодеков чуть ниже моно сигнала 16 кбит/с. Однако в случае анкеров с фильтрацией нижних частот между *Рис. 2a* и *2b* нет никакой разницы (так как единственное различие между этими сеансами – монофонические сигналы в сеансе 1 и стереофонические в сеансе 2).

Q-Design Music Codec 2 опять повел себя своеобразно. С двумя музыкальными элементами он показал хорошее качество. В народной песне стерео характеристики были даже лучше, чем моно. Однако, как только в звуковом элементе появились человеческие голоса, качество этого кодека сильно упало.

32 кбит/с при стерео сигнале

Результаты для скорости 32 кбит/с при стерео сигнале приведены на *Рис. 2c*. Наиболее очевидный результат здесь – более выраженные различия между различными кодеками. Разница между лучшим и худшим кодеками – около 25 баллов по 100-балльной шкале, в то время как при 16 кбит/с моно эта разница составляла всего 15 баллов. Лучшие кодеки уже приближаются к субъективному качеству анкера с фильтрацией 3.5 кГц.

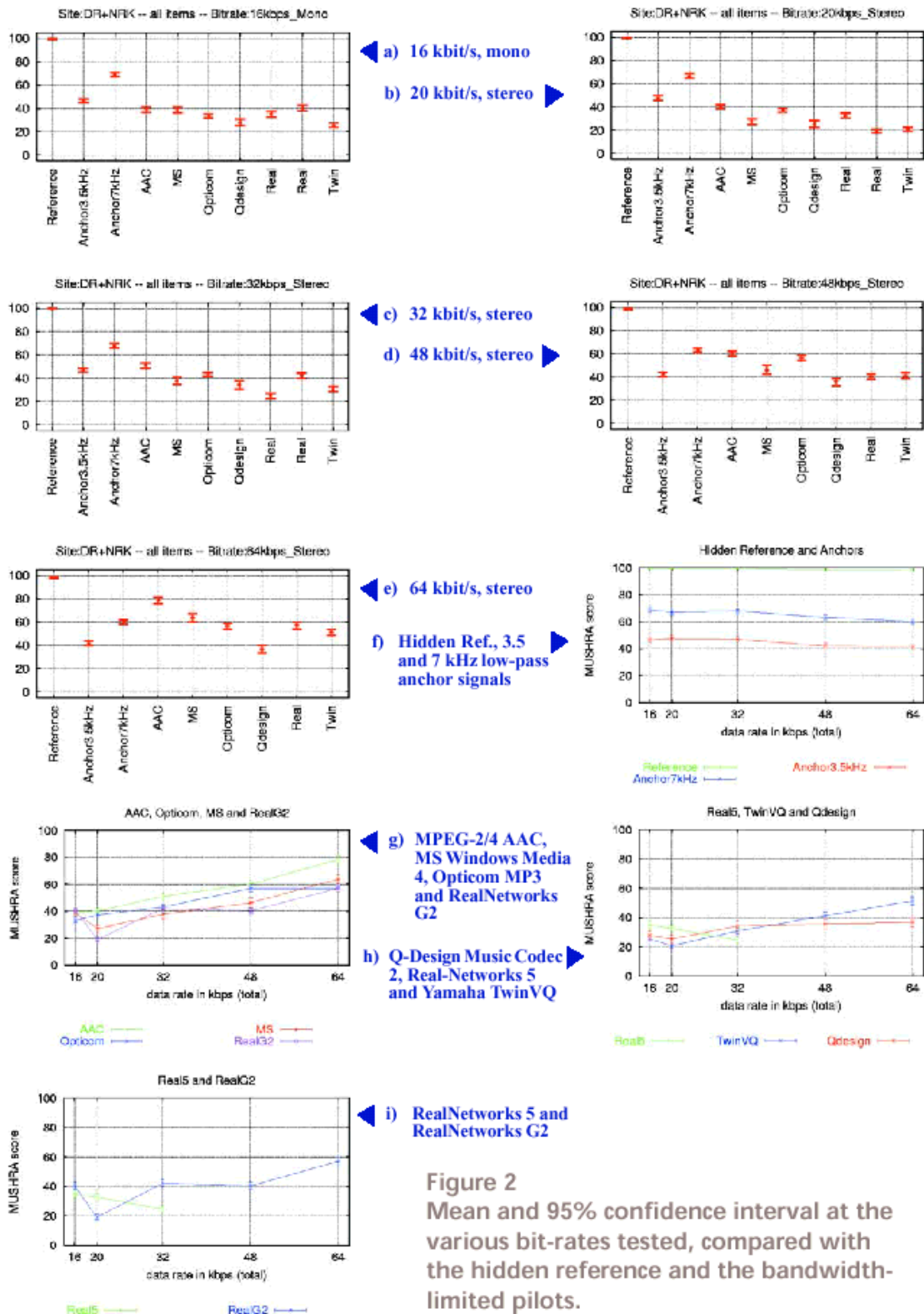


Figure 2
Mean and 95% confidence interval at the various bit-rates tested, compared with the hidden reference and the bandwidth-limited pilots.

Рис. 2: Средний и 95% доверительный интервал при различных тестируемых скоростях в сравнении со скрытым эталоном и контрольными сигналами с ограничением частотной полосы.

48 кбит/с при стерео сигнале

Результаты для скорости 48 кбит/с при стерео сигнале приведены на *Рис. 2d*. Кодеки MPEG-2/4 AAC и Opticom MP3 показывают «удовлетворительный» уровень качества, сопоставимый с анкером с фильтрацией 7 кГц. Microsoft Windows Media 4, Q-Design Music Codec 2, RealNetworks G2 и Yamaha TwinVQ подобны анкеру с фильтрацией 3.5 кГц. Следует отметить, что для определенных звуковых элементов (например, народной музыки) качество Windows Media 4 не отличалось от скрытого эталона, а кодеки MPEG-2/4 AAC и Opticom MP3 выдали в среднем только 63 балла, т.е. в диапазоне «хорошего» качества. С учетом результатов Q-Design Music Codec 2 интересно заметить, что для большинства звуковых элементов качество 48 кбит/с не сильно повысилось по сравнению с качеством 20 кбит/с.

64 кбит/с при стерео сигнале

Результаты для скорости 64 кбит/с при стерео сигнале приведены на *Рис. 2e*. На этой скорости несколько кодеков показали очень обещающие результаты. В частности, кодек MPEG-2/4 AAC приблизился к скрытому эталону, дойдя в общем среднем значении до 80 баллов. В тесте 64 кбит/с только этот кодек был оценен в диапазоне «отлично» по всем элементам. Кодеки MPEG-2/4 AAC и Microsoft Windows Media 4 превзошли качество анкера с фильтрацией 7 кГц. Разница между лучшим и худшим кодеками составила более 40 баллов, т.е. разница в качестве между различными кодеками возросла.

Скрытый анкер и анкеры с фильтрацией нижних частот

Как видно на *Рис. 2f*, доверительный интервал (CFI) для опорного сигнала с полной частотной полосой увеличивался при 48 и 64 кбит/с. Это происходило потому, что некоторые кодеки не могли обнаружить (идентифицировать) скрытый эталон в тестах 48 и 64 кбит/с. Это говорит о том, что даже при относительно низких скоростях передачи некоторые кодеки способны предложить качество, сопоставимое с эталоном.

В большинстве случаев CFI и анкер 7 кГц были оценены в диапазоне «хорошо» по всем тестируемым скоростям. Однако при увеличении скорости оценка анкера 7 кГц несколько упала, что означает, что его оценка зависит от оцениваемых скоростей передачи.

CFI и анкер 3.5 кГц были оценены в диапазоне «удовлетворительно» по всем тестируемым скоростям. Оценка анкера 3.5 кГц опять-таки упала при увеличении скорости. Однако при сравнении низших и высших скоростей интервалы CFI начинают перекрываться, что говорит о том, что метод MUSHRA является абсолютной системой классификации, дающей стабильные и надежные результаты.

Средний и 95% доверительный интервал

Рис. 2g, 2h и 2i изображают средние значения баллов и 95% доверительных интервалов для различных скоростей передачи. Как видно из этих схем, измерения были очень последовательными, что подтверждает точность метода MUSHRA.

Основные характеристики протестированных кодеков

Microsoft Windows Media 4

Эта звуковая система, основанная на Windows Media Technologies 4.0 и продемонстрированная на NAB 99, имеет два базовых кодека, специально предназначенных для кодирования музыкального и речевого контента. Скорость кодирования довольно высока, позволяя кодирование в реальном времени на стандартном PC, и сопоставима с RealNetworks G2. Многошинная архитектура увеличивает характеристики кодирования при

использовании более одного процессора, т.е. двухпроцессорные системы кодируют почти в два раза быстрее однопроцессорных.

MS Media 4 Audio предлагает очень широкий диапазон от 5 до 128 кбит/с с частотой дискретизации от 8 до 48 кГц с моно и стерео. Кодек Media 4 – патентованная система, разработанная Microsoft. Тестируемая версия была обновленной с августа 1999 г.

Для кодирования голоса Windows Media 4 использует специальный голосовой кодек для компрессии человеческой речи, обеспечивая высококачественный широкополосный звук при очень низких скоростях передачи. Он основан на технологии ACELP и поддерживает скорости от 5 до 16 кбит/с. Этот кодек разработан Sipro Lab Telecom.

Имея Windows Media Technologies версии 4.0, поставщики контента могут предложить целых пять скоростей передачи (многоскоростные потоки) для «живых» потоков и «по требованию» в одном файле формата ASF.

При соединении Windows Media Services и Windows Media Player они автоматически определяют имеющуюся пропускную полосу. Затем сервер выбирает и обслуживает соответствующий звуковой поток. Если во время передачи доступная полоса изменится, сервер это автоматически обнаружит и переключит поток на более высокую или низкую скорость.

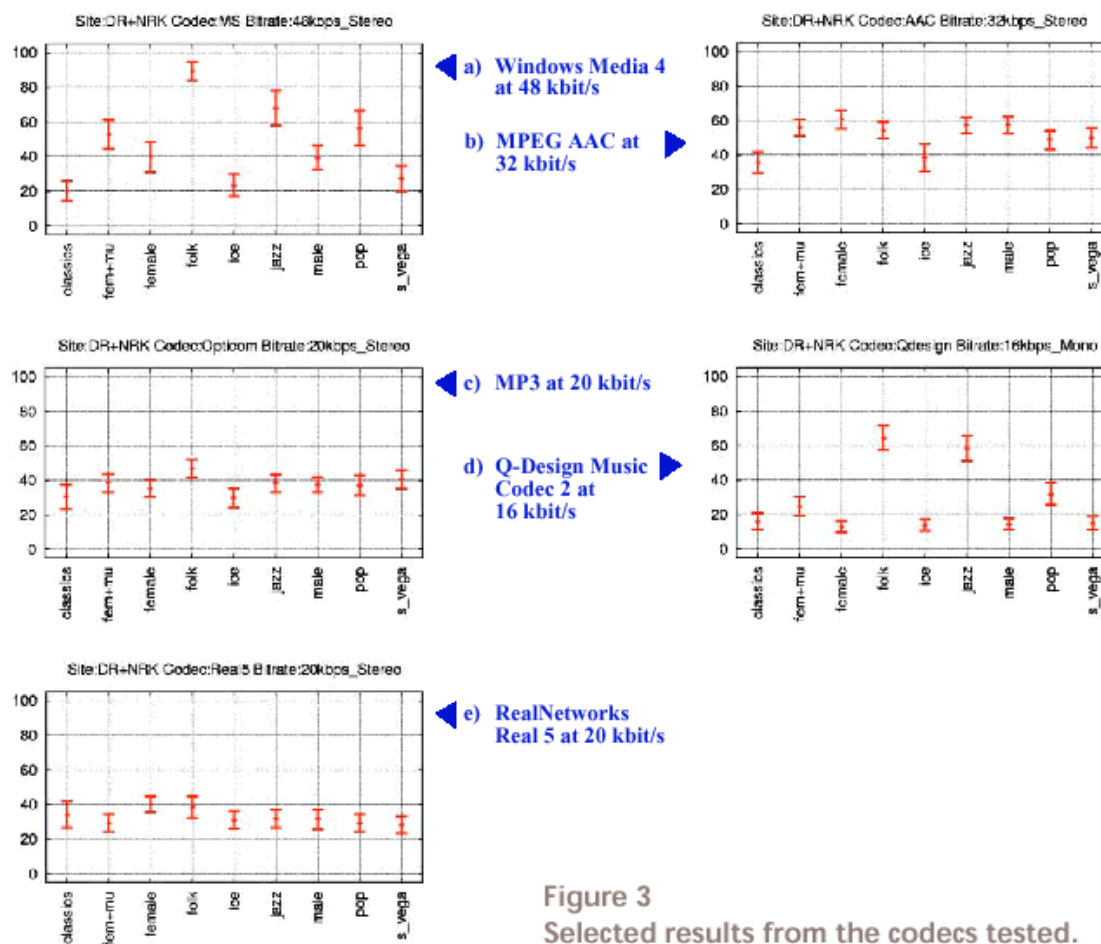


Рис. 3: Избранные результаты протестированных кодеков

MPEG-2, MPEG-4 AAC

AAC образует часть стандартов MPEG-2 и MPEG-4. Он использует кодирование формы сигнала на основе модифицированного преобразования с дискретным косинусом

(MDCT) различной длины. Чтобы AAC не превратился в средство для музыкального пиратства, он доступен сегодня только в безопасных форматах. Интернетовское приложение AAC имеется сейчас только от компании Liquid Audio. Оно не поддерживает живой передачи потоков и не позволяет воспроизведение кодированных AAC файлов с обычных серверов. В данное время система применима только для конфиденциального распространения музыки по Интернету.

Для предотвращения музыкального пиратства требуется специально сертифицированный сервер Liquid Audio. Вскоре ожидается появление и других средств для использования AAC. Помимо Интернета, AAC будет использоваться в японской системе ТВЧ.

В этом тесте использовался кодер MPEG-2 AAC Main profile encoder согласно ISO/IEC 13818-7, внедренный FhG-IIS. AAC использовался с четырьмя частотами дискретизации от 8 до 32 кГц, в зависимости от использовавшихся скоростей передачи.

MPEG-1, MPEG-2 Layer 3 (MP3)

MP3 характеризует особый файловый формат, который используется главным образом для передачи потоков или загрузки звуковых файлов, а также для вещательных приложений (например, подачи через ISDN, системы спутникового вещания WorldSpace). MP3 основан на стандарте ISO/IEC MPEG Layer 3. На рынке существует несколько реализаций кодеров MP3 и множество декодеров.

Самые популярные кодеры – это AudioActive (Telos Systems), MP3 Producer (Opticom) и MP3 Live! (Xing Technologies). Все они обеспечивают как стандартизированные частоты дискретизации ISO/IEC 11172-3 и ISO/IEC 13818-3, так и расширение до очень низких частот дискретизации под названием “MPEG-2.5”. Кодер MP3 Live! – вместе с технологией передачи потоков Xing Streamworks MP3 или системой AudioActive, использующей формат Microsoft ASF – обычно используется для живой передачи потоков MP3.

Для тестов EBU использовались кодер и декодер Opticom. При скоростях 48 и 64 кбит/с MP3 использовался в полном согласии со стандартами MPEG, а на более низких скоростях использовалась частота дискретизации 11 кГц (из расширения MPEG-2.5).

Q-Design Music Codec 2

Этот кодек работает под мультимедийной платформой QuickTime 4.0, которая прежде была предназначена только для загрузки звука и/или видео. Однако с первого выпуска бета-версии QuickTime 4.0 в апреле 1999 г. поддерживается и живая передача потоков. Music Codec 2 основан на совершенно новой патентованной системе параметрического кодирования, детали которой недоступны. Публичная версия, бесплатно поставляемая вместе с платформой QuickTime 4.0, занимает большую долю мощности обработки и потому очень медленна.

Кодирование в реальном времени в этой версии более или менее невозможно. Профессиональная версия, которая автоматически настраивается на все необходимые детали обработки звука, предлагает значительно большую скорость обработки, позволяя кодирование в реальном времени на стандартном PC или Mac. Для тестов EBU использовалась новая версия-прототип, коммерчески пока не доступная. Частота дискретизации была зафиксирована на 44.1 кГц при всех тестируемых скоростях передачи⁸.

RealAudio 5.0 u RealNetworks G2

Кодер и декодер RealAudio – это патентованный алгоритм кодирования, который поддерживает различные варианты кодирования с различными особенностями кодекса.

⁸ Результаты ниже скорости 32 кбит/с для этого кодекса могут быть недействительны, так как более низкая частота дискретизации будет показывать лучшие результаты.

Звуковая система RealNetworks G2 используется исключительно для живой передачи звуковых потоков или файлов. Однако создание файлов WAV или AIFF заблокировано для защиты от копирования. Новая система G2 – на базе технологии кодирования DolbyNet – представляет большой шаг вперед по сравнению с RealAudio 5.0 благодаря своей масштабируемости. Поэтому G2 может одновременно использоваться в сетях ISDN на скорости 64 кбит/с, а также с модемом емкостью всего 14.4 кбит/с. В одном звуковом файле можно одновременно создавать ряд параллельных потоков, обычно до шести. Система позволяет гибкое снижение качества при уменьшении доступной частотной полосы (как это часто бывает в Интернете в часы пик). Это свойство сопоставимо с системой интеллектуальной передачи потоков, используемой Windows Media 4.0.

Yamaha SoundVQ

Yamaha “SoundVQ” – это кодек TwinVQ (Transform-domain Weighted Interleave Vector Quantization). Он основан на технологии звуковой компрессии, разработанной NTT Human Interface Laboratories, в которой образцы разрабатываются из множества единиц данных и сравниваются со стандартными образцами: затем передается сжатый код для подобных образцов. Это дает высокое качество и высокие коэффициенты сжатия. Алгоритм TwinVQ стандартизирован MPEG-4 Audio.

“SoundVQ” не ограничен выдачей звуковых данных с домашних страниц. Его можно использовать и для речевой почты или звуковых «редколлегий», или для CD-ROM с большими объемами звуковых данных. С помощью «кодера» SoundVQ любой желающий может легко создавать данные для распространения. Можно выбрать коэффициент сжатия, сжимая данные от 1/10 до 1/2 от исходного размера. Поскольку кодированные файлы не требуют для распространения специального сервера, то индивидуумы могут распространять звуковые данные независимо от своего интернетовского провайдера. «Плеер» используется вместе с просмотрной программой Интернета и позволяет воспроизводить звук с пользовательского компьютера при простом посещении домашней страницы.

Заклучения

Тесты EBU по звуковым кодекам для Интернета представляют большой успех в сотрудничестве между членами EBU. Они также подтверждают укоренившуюся роль EBU в проведении крупномасштабных независимых и коммерчески нейтральных оценок новых цифровых технологий. После полной проверки результатов тестирования можно сделать следующие выводы:

- ⇒ Кодек AAC – единственный кодек, оцененный в диапазоне «отлично» при скорости 64 кбит/с для всех звуковых элементов.
- ⇒ Кодеки Q-Design и RealNetworks 5 по большинству звуковых элементов выдали оценки в диапазоне «плохо» или «неудовлетворительно», в зависимости от скорости передачи.
- ⇒ При скорости 16 кбит/с доверительные интервалы кодера MPEG-2/4 AAC полностью или частично были в диапазоне «удовлетворительно», кроме двух элементов (т.е. мужского голоса и классики). При скорости 64 кбит/с доверительный интервал полностью или частично был в диапазоне «отлично», кроме двух элементов (т.е. хоккея и классики).
- ⇒ MS Windows Media 4 имеет неравномерный разброс в разных звуковых элементах и скоростях. При 16 кбит/с качество варьируется в основном между «удовлетворительно-но» и «плохо». При 64 кбит/с, в зависимости от звукового элемента, уровень качества мог быть «отличным», «хорошим», «удовлетворительным» или даже «плохим».
- ⇒ Диапазон качества Q-Design Music Codec 2 сильно зависит от характера звукового элемента и не особо от выбранной скорости. Элементы с народной музыкой и джазом достигают «хорошего» уровня даже при самой низкой скорости, но большинство остальных элементов даже при самой высокой скорости располагаются в категории «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».



Франк Козамерник (Franc Kozamernik) закончил в 1972 Электротехнический факультет Университета Любляна, Словения. С 1985 работает в Европейском Вещательном Союзе (EBU) и занимался многими различными техническими направлениями, включая вещание цифрового звука, звуковое кодирование и RF аспекты развития вариантов систем вещания звука и видео.

К настоящему времени, м-р Козамерник координатор нескольких проектных групп EBU, включая V/AIM (Звук в Мультимедиа), V/WB (Веб—вещание) и V/MM (Мобильные Мультимедиа). Он представляет EBU в несколько совместных проектах: Eureka-147 DAB, S3M, Hypermedia и проекты TeleWeb.

Франк Козамерник - также Директор проекта World DAB Forum.



Герхард Столл (Gerhard Stoll) изучал электротехнику с основным акцентом на теорию связи и психоакустику в университетах Штутгарта и Мюнхена. В 1984 он поступил в IRT - научно-исследовательский центр общественных вещателей Германии, Австрии и Швейцарии и возглавил группу психоакустики. В IRT, он был ответственным за разработку - звукового стандарта MPEG Layer II.

М-р Столл также член других групп по стандартизации, например, MPEG, Eureka-147, DAB, DVB и EBU, занимающихся разработкой международных стандартов для трансляции. За его вклад в области низкоскоростного кодирования звука он получил премию Кремера Немецкого Акустического Общества и награды Общества звукоинженеров (AES).

Как старший инженер в IRT, он возглавляет направление мультимедийного вещания и сервиса информационных технологий. В октябре 2000 года, он получил в Национальной Академии Телевизионного Искусства и Наук в НЬЮ-ЙОРКЕ, премию Emmy за свой значительный вклад в звуковую систему MPEG, которая используется для цифровой трансляции.

- ⇒ Кодек RealNetworks 5 тестировался только на трех самых низких скоростях: 16, 20 и 32 кбит/с. Оценки качества этого кодека в основном находятся в категории «удовлетворительно» и зависят от скорости передачи.
- ⇒ Кодек RealNetworks G2 при скорости 20 кбит/с показывает гораздо худшее качество, чем при 16 кбит/с моно. При 32 кбит/с его качество похоже на 16 кбит/с моно, т.е. он как будто не выигрывает от стерео кодирования. Вследствие более высоких частотных характеристик сигнала при скорости 48 кбит/с по сравнению с 32 кбит/с его качество даже хуже, чем в последнем случае. При скорости 64 кбит/с качество находится в диа-пазоне «хорошо» и «удовлетворительно» для большинства тестированных сигналов.

Благодарности

Авторы хотели бы горячо поблагодарить членов проектной группы V/AIM, вложивших много сил в исследования, проведение субъективных тестов и составление заключительного отчета, послужившего основой для настоящей статьи.

Особую благодарность заслуживают г-да Томас Спорер (Fraunhofer Institute) за предоставление программного обеспечения и пользовательского интерфейса для обучения и проведения тестов, а также за статистический анализ результатов, Тор Видар Фоссе

(NRK) и Микаэль Харрит (DR) за предоставление экспертов и проведение тестов прослушивания, Ульф Вюстенхаген (T-Nova) за проверку тестового материала, а также другие члены проектной группы EBU B/AIM за свои комментарии и советы.

Библиография

[1] ETS 300 163: **Television systems; NICAM 728: Specification for transmission of two-channel digital sound with terrestrial television systems B, G, H, I and L**

<http://www.etsi.org/>

ETS 300 163: Телевизионные системы; NICAM 728: Спецификация для передачи двухканального цифрового звука наземными телевизионными системами B, G, H, I и L

[2] ISO/IEC 11172-1:1993: **Information technology -- Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1,5 Mbit/s**

<http://www.cselt.it/mpeg/standards/mpeg-1/mpeg-1.htm>

ISO/IEC 11172-1:1993: Информационная технология – Кодирование подвижных изображений и соответствующего звука для цифровых средств хранения на скорости приблизительно до 1,5 Мбит/с

[3] ITU-R Recommendation BS.1116-1: **Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems**

<http://www.itu.int/search/index.html>

ITU-R Recommendation BS.1116-1: Методы субъективной оценки небольших ухудшений в звуковых системах, в т.ч. многоканальных

[4] BPN 029: **EBU Report on the Subjective Listening Tests of Some Commercial Internet Audio Codecs**

Contribution of EBU Project Group B/AIM, June 2000.

BPN 029: Отчет EBU о субъективных тестах прослушивания некоторых коммерческих звуковых кодеков для Интернета

[5] Preliminary Draft New Recommendation, ITU-R document 10-11Q/TEMP/33: **A method for subjective listening tests of intermediate audio quality - Contribution from the EBU to ITU Working Party 10-11Q**

<http://www.itu.int/itudoc/itu-r/sg11/docs/wp10-11q/1998-00/contrib/56005.html>

Предварительный проект новой рекомендации, документ ITU-R 10-11Q/TEMP?33: Метод субъективных тестов прослушивания промежуточного качества звука – вклад EBU в рабочую группу ITU 10-11Q

[6] ITU-R Recommendation BS.562: **Subjective assessment of sound quality**

<http://www.itu.int/plweb-cgi/fastweb?getdoc+view1+itu-doc+12352+1++BS.562>

ITU-R Recommendation BS.562: Субъективная оценка качества звука

[7] ITU-R Recommendation BT.500: **Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures**

<http://www.itu.int/plweb-cgi/fastweb?getdoc+view1+itu-doc+12310+6++BT.500>

ITU-R Recommendation BT.500: Методология субъективной оценки качества телевизионных изображений

[8] EBU Recommendation R 68-1992: **Alignment level in digital audio production equipment and in digital audio recorders**

http://www.ebu.ch/tech_texts.html

EBU Recommendation R 68-1992: Уровень выравнивания в цифровом звуковом производственном оборудовании и в цифровых звуковых рекордерах

[9] ITU-R Recommendation BS.645: **Test signals and metering to be used on inter-national sound programme connections**

<http://www.itu.int/plweb-cgi/fastweb?getdoc+view1+itu-doc+12361+1++BS.645>

ITU-R Recommendation BS.645: Тестовые сигналы и измерения, используемые в международных коммуникациях звуковых программ

[10] ITU-R Recommendation BS.775: **Multichannel stereophonic sound systems with and without accompanying picture**

<http://www.itu.int/plweb-cgi/fastweb?getdoc+view1+itu-doc+12373+0++BS.775>

ITU-R Recommendation BS.775: Многоканальные стереофонические звуковые системы с сопровождающим изображением и без него