УДК 621.397

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СТАНДАРТА ВИДЕОКОДИРОВАНИЯ НЕVC

Дворкович В.П., д.т.н., проф., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, dvp@niircom.ru; Дворкович А.В., д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ», a_dvork@niircom.ru; Грызов Г.Ю., ведущий инженер ООО «НПФ «САД-КОМ», gryzov@niircom.ru.

Ключевые слова: видеокодирование, стандарт, компрессия, параллельная обработ-ка, HEVC, AVC, MPEG.

Введение

Новый стандарт представляет собой эволюционное развитие существующих стандартов видеокодирования (Рекомендации МСЭ-Т Н.261 [1], Н.262 [2], Н.263 [3] и Н.264 [4]). Он был разработан в ответ на растущие потребности повышения степени компрессии видео для различных приложений, таких как видеоконференцсвязь, цифровые системы хранения данных, ТВ вещание, потоковая передача через Интернет и др. Он обеспечивает использование кодированного видео в разнообразном сетевом окружении, а также позволяет эффективно реализовывать обработку данных в кодирующих и декодирующих устройствах с многоядерной параллельной обработкой. Стандарт HEVC (High Efficiency Video Coding, высокоэффективное видеокодирование) позволяет обрабатывать видео в форме компьютерных данных и хранить его на различных устройствах, передавать и принимать его по существующим и будущим телекоммуникационным сетям, распределять по существующим и будущим каналам вещания [5].

В настоящее время существенно снизилась стоимость вычислительных мощностей и памяти, развиты различные средства сетевого обеспечения передачи кодированного видео, достигнуты успехи в усовершенствовании технологии видеокодирования. Таким образом, возникла необходимость промышленного стандарта для представления сжатого видео с существенно повышенной эффективностью кодирования и надежностью передачи в сетевом окружении. Для этого в 2010 г. группы экспертов VCEG (ITU-T Video Coding Experts Group - группа экспертов по видеокодированию при Секторе стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи) и MPEG (ISO/IEC Moving Picture Experts Group - группа экспертов по движущимся изображениям при Международной организации по стандартизации и Международной элетротехнической комиссии) сформировали совместную группу по видеокодированию (JCT-VC, Joint Collaborative Team on Video Coding) для разработки нового стандарта, первая редакция которого в рамках ITU-Т была принята в начале 2013 г. как Рекомендация H.265. В рамках ISO/IEC в настоящее время он принят как окончательный проект международного стандарта ISO/IEC FDIS 23008-2 -MPEG-H Part 2 HEVC [6].

Представлен подробный обзор возможностей и алгоритмов, включенных в новый стандарт видеокодирования HEVC, а также сравнение эффективности кодирования в соответствии с этим стандартом по сравнению с предшествующими.

Группа VCEG была сформирована в 1997 г. для поддержания уже принятых ITU-T стандартов видеокодирования и для разработки новых стандартов видеокодирования для широкого круга сервисов, как диалоговых, так и недиалоговых. Группа MPEG была сформирована в 1988 г. для создания стандартов кодирования движущихся изображений и связанного с ними звука для различных приложений, таких как цифровые средства хранения, распределение и связь.

Новый стандарт предназначен для использования во множестве приложений, включая [6]:

- видеовещание (кабельное, спутниковое, наземное ТВ и т.д.);
 - камкодеры;
 - создание и распределение видеоконтента;
 - цифровое кино;
 - домашний кинотеатр;
- потоковая передача видео через Интернет, загрузка и проигрывание;
 - медицинские изображения;
 - мобильное видеовещание и видеосвязь;
- диалоговые службы реального времени (видеоконференцсвязь, видеотелефон, телеприсутствие и пр.);
 - дистанционное видеонаблюдение;
- устройства хранения (оптические диски, цифровая ленточная видеозапись и пр.);
 - беспроводное отображение.

Новый стандарт разрабатывался как общий в смысле пригодности для широкого диапазона приложений, скоростей выходного потока, разрешений, различного качества и разнообразных сервисов. При разработке стандарта были проанализированы различные требования типичных приложений, разработаны необходимые алгоритмические элементы и все это было интегрировано в единый синтаксис.

Стандарт видеокодирования, непосредственно предшествовавший стандарту HEVC – H.264/MPEG-4 Part 10 AVC (Advanced Video Coding) [4]. Он был разработан в период с 1999 по 2003 г., а в период с 2003 по 2009 г. в него были внесены существенные дополнения и расширения. Стандарт AVC позволил использовать цифровое видео во многих областях, не охваченных предшествующими стандартами, а также существенно

потеснил их в существующих приложениях. AVC охватил такие области приложений, как ТВ вещание стандартной и высокой четкости по кабельным, спутниковым и наземным сетям, системы сбора и подготовки программ, камкодеры, системы видеонаблюдения, видеоприложения в Интернете и мобильных сетях, блю-рэй диски, диалоговые приложения (видеотелефон, видеоконференцсвязь, телеприсутствие).

Однако растущее многообразие сервисов, популярность видео высокой четкости, появление форматов сверхвысокого разрешения (4k×2k, 8k×4k), потребности стерео и многоракурсного видео породили такие требования эффективности кодирования, которые превышают возможности стандарта AVC. Более того, трафик, генерируемый видеоприложениями для мобильных устройств и планшетов, а также требования по передаче для сервисов по запросу, представляют серьезную проблему для пропускной способности современных сетей связи. В мобильных приложениях возникают требования более высокого разрешения и качества видео.

Стандарт HEVC разрабатывался таким образом, чтобы удовлетворить потребности практически всех видеоприложений, охваченных стандартом AVC, особенно уделяя внимание двум ключевым моментам: увеличение разрешения изображения и повышение эффективности использования архитектуры параллельной обработки.

При разработке стандарта HEVC были поставлены следующие основные цели:

- повышение эффективности кодирования по сравнению с предшествующими стандартами,
- удобная интеграция в транспортные сети и системы,
 - повышенная устойчивость к потерям данных,
- возможность реализации с интенсивным использованием параллельной обработки данных.

Основная цель нового стандарта — существенное повышение эффективности сжатия по отношению к существующим стандартам — до 50% снижения битового потока при сохранении визуального качества, обеспечиваемого в стандарте AVC. Эта цель была успешно достигнута.

Как и для всех предшествующих стандартов видеокодирования, принятых ITU-T и ISO/IEC, HEVC стандартизирует только структуру и синтаксис битового потока, а также ограничения, наложенные на битовый поток и его интерпретацию для получения декодированных изображений. Интерпретация задается с помощью определения семантического значения синтаксических элементов и процесса декодирования таким образом, чтобы любой декодер, соответствующий стандарту, давал одинаковый результат на выходе при поступлении на его вход битового потока, соответствующего ограничениям стандарта. Такое ограничение области действия стандарта дает максимальную свободу для оптимизации конкретных реализаций в соответствии с требованиями конкретных приложений (приемлемое качество кодирования, стоимость реализации, время разработки и пр.). Однако, стандарт таким образом не гарантирует качества передаваемого изображения, так как он позволяет использовать даже очень грубую методику кодирования, тем не менее соответствующую стандарту.

В стандарте HEVC не предусмотрено никаких отдельных инструментов для работы с чересстрочной разверткой, как, например, в MPEG-2, так как современное оборудование не использует этот механизм. Однако синтаксис метаданных позволяет в рамках стандарта HEVC указывать, каким образом кодируются видеоданные. Например, для видео с чересстрочной разверткой можно указать, что кодирование производится по полям (четным и нечетным) как отдельные последовательно идущие изображения.

Базовая модель представления кадров — YCbCr 4:2:0, другие модели предусматриваются в последующих расширениях. На компоненту пиксела отводится 8 или 10 бит, а в дальнейших расширениях предусматриваются и большие значения.

В последующих дополнениях к стандарту HEVC планируется добавить масштабируемость (SVC) и многоракурсность (MVC).

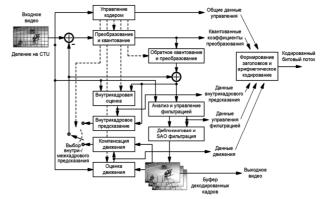


Рис. 1. Общая структура кодера HEVC

Стандарт HEVC реализует обычный гибридный подход к кодированию: внутри/межкадровое предсказание и кодирование с двумерным преобразованием (см. рис. 1). Множество улучшений, реализованных в новом стандарте, вместе дают эффект существенного повышения эффективности кодирования.

Алгоритм кодирования обычно работает следующим образом:

Каждое изображение делится на блоки, структура разбиения передается на декодер. Первый кадр видеопоследовательности и первый кадр в каждой точке «чистого» произвольного доступа в видеопоследовательности кодируется с использованием только внутрикадрового предсказания. Для всех остальных кадров последовательности или между точками произвольного доступа для большинства блоков обычно используются различные режимы межкадрового кодирования с временным предсказанием. Алгоритмы компрессии, которые стандартом не определены, могут осуществлять выбор между внутри- и межкадровым кодированием для блочных областей каждого изображения. Для внутрикадрового кодирования используются различные режимы пространственного предсказания отсчетов в блоке. Процесс кодирования для межкадрового предсказания состоит из выбора данных движения, включающих опорный кадр и вектор движения, используемый для предсказания отсчетов каждого блока. Остаточный сигнал после внутрикадрового или межкадрового предсказания, получающийся как разность отсчетов блока и его предсказания, подвергается линейному пространственному преобразованию. Полученные коэффициенты преобразования квантуются. Именно на этом этапе происходит регулирование уровня качества декодированного видео, поскольку квантование является необратимым процессом. Наконец, вектора движения и информация о режимах внутрикадрового предсказания могут быть также далее сжаты с использованием множества методов предсказания и, после предсказания, совместно с квантованными коэффициентами преобразования поступают на контекстно-адаптивный бинарный арифметический кодер.

Кодер повторяет петлю обработки на декодере для того, чтобы предсказание формировалось одинаково как на кодере, так и на декодере. Для этого квантованные коэффициенты преобразования восстанавливаются с помощью обратного квантования и подвергаются обратному преобразованию с целью дублирования аппроксимации остаточного сигнала на декодере. Остаточный сигнал затем прибавляется к предсказанию, а результат может пропускаться через один или два фильтра для сглаживания артефактов, вносимых блочной обработкой и квантованием. Результирующий восстановленный кадр (дублирующий выходной кадр декодера) сохраняется в буфере декодированных кадров для дальнейшего использования при предсказании последующих кадров. Вообще говоря, порядок кодирования или декодирования кадров часто отличается от порядка их поступления от источника видеосигнала, вследствие чего необходимо различать порядок декодирования (порядок данных в битовом потоке) и порядок воспроизведения на декодере.

Для практических возможностей реализации полного синтаксиса нового стандарта было определено некоторое ограниченное количество подмножеств синтаксиса с помощью понятий «профиль» (profile), «ярус» (tier) и «уровень» (level).

Профиль – подмножество синтаксиса стандарта, ограниченное по доступным алгоритмам компрессии. В рамках ограничений, накладываемых на синтаксис данным профилем, все же требуется очень большое варьирование производительности кодеров и декодеров в зависимости от допустимых значений величин синтаксических элементов в битовом потоке, таких как размер декодируемого изображения.

Для определения требований к производительности декодера специфицируются уровни и ярусы. Декодер, соответствующий определенному уровню и ярусу, должен быть способен декодировать все битовые потоки, которые соответствуют указанному уровню и ярусу или более низкому ярусу того же уровня или любого уровня ниже его. Уровень и ярус — это набор ограничений, наложенных на значения синтаксических элементов битового потока. Эти ограничения могут быть простыми ограничений значений. Или они могут иметь форму ограничений арифметических комбинаций величин (например, произведение высоты кадра, ширины кадра и количества декодированных кадров в секунду).

Для всех профилей определяется одинаковый набор

уровней, причем большая часть деталей определений каждого уровня являются общими для разных профилей. Конкретные реализации могут поддерживать различные уровни для каждого поддерживаемого профиля (в рамках специфицированных ограничений).

Ярус – это категория ограничений уровня, наложенных на величины синтаксических элементов в битовом потоке, где ограничения уровня вложены в ярус, и декодер, соответствующий определенному ярусу и уровню, должен быть способен декодировать все битовые потоки, которые соответствуют тому же ярусу или более низкому ярусу того же уровня или любому уровню ниже его.

Архитектура синтаксиса высокого уровня, использованная в стандарте AVC, в стандарте HEVC в целом сохранена, но добавлен ряд новых возможностей, которые повышают устойчивость к потере данных и гибкость работы в множестве приложений и в различном сетевом окружении.

Как и в стандарте AVC, в новом стандарте синтаксис потока данных делится на два уровня: уровень сетевой абстракции NAL (Network Abstraction Layer) и уровень видеокодирования VCL (Video Coding Layer). Уровень NAL обеспечивает возможность отображать данные уровня VCL на различные средства транспортного уровня (RTP/IP, MP4, MPEG-2 TS и др.) и обеспечивать определенную устойчивость к пакетным ошибкам.

Битовый поток может иметь один из двух форматов: формат пакетов NAL или формат байтового потока. Формат пакетов NAL - концептуально более «базовый» тип. Он включает последовательность синтаксических структур VCL, называемых пакетами NAL. Эта последовательность упорядочена в порядке декодирования. Имеются ограничения, наложенные на порядок декодирования (и содержание) пакетов NAL в потоке пакетов NAL. Байтовый формат потока может быть построен из формата потока пакетов NAL с помощью добавления к каждому пакету NAL префикса стартового кода и, возможно, нескольких дополнительных байтов внутри пакета для обеспечения уникальности префикса стартового кода. Поток формата пакетов NAL может быть извлечен из потока байтового формата путем нахождения положения шаблона префикса уникального стартового кода в потоке байтов.

По двухбайтовому заголовку пакета NAL можно определить назначение передаваемых в этом пакете данных. Пакеты NAL делятся на два класса: пакеты NAL уровня видеокодирования (VCL NAL) и другие (non-VCL NAL). В стандарте HEVC имеются несколько типов пакетов VCL NAL, определяющих категории кадров, удобные для инициализации декодирования и произвольного доступа.

Структура набора параметров, передаваемая в пакетах non-VCL NAL и появившаяся в стандарте AVC, содержит информацию, которая используется для декодирования кадров и видеопоследовательности в целом. Она обеспечивает надежный механизм передачи данных, которые являются значимыми для процесса декодирования. В стандарте HEVC наборы параметров последовательности и изображения дополнены новой структурой – набором видеопараметров – метаданными,

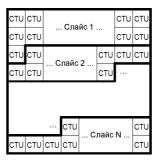
описывающими общие характеристики закодированной видеопоследовательности, включая зависимости между временными уровнями при использовании временного масштабирования. Эта структура нужна в первую очередь для будущей реализации совместимых расширений стандарта.

Специальное внимание уделено облегчению произвольного доступа и соединения (сращивания, склеивания) битовых потоков. В предыдущем стандарте AVC поток должен всегда начинаться с пакета IDR (Instantaneous Decoding Refresh, немедленного обновления декодирования), который содержит кадр с пространственным предсказанием, а также означает, что ни один последующий кадр не потребует для декодирования кадров, предшествовавших этому IDR. Это соответствует началу закрытой группы кадров (closed GOP, термин, появившийся еще в стандарте MPEG-1). Стандарт HEVC вводит новый пакет CRA (Clean Random Access, чистый произвольный доступ), который содержит кадр с пространственным предсказанием в точке произвольного доступа (RAP, Random Access Point) и соответствует началу открытой группы кадров (open GOP). Развитая поддержка произвольного доступа очень важна для таких операций как переключение каналов, поиск и др. В этом случае в потоке после CRA могут присутствовать кадры, для декодирования которых могут понадобиться кадры, предшествующие СRA. Тогда при начале декодирования с CRA такие кадры должны отбрасываться, они помечаются как TFD (Tagged For Discard, помеченные для отбрасывания). Положение точек склейки различных битовых потоков могут помечаться как кадры BLA (Broken Link Access, испорченная ссылка доступа). Склейка потоков может быть осуществлена с помощью изменения в одном потоке типа пакета NAL с CRA на BLA и соединения с другим потоком в точке произвольного доступа RAP. Кадр RAP может иметь тип IDR, CRA или BLA. За кадрами типа CRA и BLA в битовом потоке могут следовать кадры типа TFD. Другой тип кадров, который может следовать за кадром RAP в порядке декодирования, но предшествовать ему в порядке воспроизведения - это DLP (Decodable Leading Picture, декодируемый лидирующий кадр), такие кадры не могут использовать для предсказания какие-либо кадры, предшествующие RAP в порядке декодирования. Кадры TFD и DLP вместе называются LP (Leading Picture, лидирующий кадр). Кадры, которые следуют за RAP как в порядке декодирования, так и в порядке воспроизведения, называются TP (Trailing Picture, последующий кадр), они не могут использовать для предсказания кадры LP.

Специальные типы пакетов NAL определены в HEVC для реализации масштабирования по времени. Они определяют кадры, на которых возможно переключение с более низкого слоя масштабирования на более высокий (так называемые кадры TSA и STSA – Temporal Sublayer Access и Step-wise Temporal Sublayer Access).

Следующий элемент синтаксиса высокого уровня – слайс. Слайс – это структура данных, которая может быть декодирована независимо от остальных слайсов этого же кадра. Это касается арифметического кодирования, предсказания сигнала и восстановления остатков

предсказания сигнала, но не относится к так называемым зависимым слайсам. Слайс может занимать весь кадр или только его часть (см. рис. 2). Одно из главных назначений слайса — пересинхронизация в случае потери данных. Вдоль границ слайсов не осуществляется внутрикадровое предсказание. Как и ранее, слайсы бывают трех типов: кодированные с пространственным предсказанием (I), кодированные с однонаправленным (Р) и двунаправленным (В) временным предсказанием. Обычно в случае пакетной передачи ограничивается максимальное количество бит в слайсе.



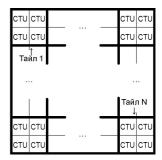


Рис. 2. Слайсы и тайлы

Синтаксис высокого уровня включает поддержку различных типов метаданных, называемых дополнительной расширенной информацией (SEI, Supplemental Enhancement Information) и информацией о свойствах видео (VUI, Video Usability Information). Это могут быть данные о времени кадров видео, цветовом пространстве видеосигнала, упаковке 3D информации и пр.

В стандарт HEVC введены новые понятия с целью расширения возможностей параллельной обработки или модификации структурирования данных слайсов для пакетирования:

- тайлы (tile) независимо декодируемые прямоугольные области, на которые может быть разделен кадр (рис. 2). Их основное назначение – возможность распараллеливания процедур кодирования и декодирования:
- фронтальная параллельная обработка (WPP, Wavefront Parallel Processing), при которой слайс делится на ряды пакетов кодирования (CTU); каждый последующий ряд можно начинать обрабатывать с небольшой задержкой относительно начала времени обработки предыдущего ряда (рис. 3); WPP обычно обеспечивает более высокую эффективность кодирования, чем тайлы;
- зависимые слайсы, которые позволяют помещать данные определенных структур WPP или тайла в отдельные пакеты NAL, что потенциально позволяет снизить задержку.



Рис. 3. Фронтальная параллельная обработка

Для работы с кадрами, имеющими несколько опорных кадров, необходимо присутствие определенного набора ранее декодированных кадров в буфере декодированных кадров DPB (Decoded Picture Buffer), с помощью которых осуществляется декодирование следующих кадров из битового потока. Для идентификации этих кадров в каждом заголовке слайса передается список ссылок на опорные кадры. Как и в стандарте AVC, в стандарте HEVC создаются два списка опорных кадров, но новый синтаксис более устойчив к потерям данных, более удобен для произвольного доступа и пр.

На уровне видеокодирования (VCL) предусмотрен ряд новаций. Одна из них – повсеместное использование древовидных структур.

Рассмотрим некоторые основные компоненты процесса видеокодирования в соответствии со стандартом HEVC.

Пакет кодового дерева (Coding Tree Unit, CTU) и блок кодового дерева (Coding Tree Block, CTB)

Базовым элементом уровня кодирования в предшествующих стандартах был макроблок, содержащий в модели цветности YCbCr 4:2:0 блок яркости размером 16х16 отсчетов и два соответствующих ему цветоразностных блока размером 8х8 отсчетов. Аналогичной базовой структурой в стандарте HEVC является пакет кодового дерева СТU, размер которого выбирается кодером и может быть больше традиционного макроблока. СТU состоит из блока кодового дерева (СТВ) яркости и соответствующих ему цветоразностных СТВ. Размер СТВ яркости может быть равен 16х16, 32х32 или 64х64 отсчетов, причем больший размер обычно позволяет достичь большего сжатия. Стандарт HEVC поддерживает деление СТВ на меньшие блоки с помощью квадродерева [7].

Кодовый пакет (Coding Unit, CU) и кодовый блок (Coding Block, CB)

Синтаксис квадродерева, используемый для описания CTU (и других древовидных структур в стандарте HEVC), специфицирует размер и положение кодовых блоков яркости и цветности. Корень квадродерева ассоциируется с СТИ. Следовательно, размер СТВ яркости это наибольший размер кодового блока яркости. Разделение CTU на кодовые блоки яркости и цветности сигнализируется совместно. Минимальный размер СВ составляет не менее 8х8 пикселов (в яркости). Один кодовый блок яркости и обычно два кодовых блока цветности вместе с соответствующим синтаксисом образуют кодовый пакет. CTU может содержать один кодовый пакет или может быть разделен на несколько кодовых пакетов. и каждый кодовый пакет имеет связанное с ним разбиение на пакеты предсказания и дерево пакетов преобразования (см. рис. 4). На правой и нижней границах кадра, там, где CTU может выходить за границы кадра, деление на CU осуществляется в неявном виде так, чтобы не было выхода за границы.

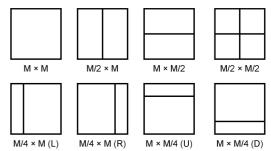


Рис. 4. Блок кодового дерева и соответствующая ему древовидная структура (пунктиром указано дерево блоков преобразования)

Пакет предсказания (Prediction Unit, PU) и блок предсказания (Prediction Block, PB)

Решение о том, кодировать ли пакет изображения с использованием внутрикадрового или межкадрового предсказания, принимается на уровне кодовых пакетов. Структура разбиения пакета предсказания имеет корень на уровне кодового пакета. В зависимости от выбранного типа предсказания кодовые блоки яркости и цветности в некоторых случаях могут быть далее поделены по размеру. Стандарт HEVC поддерживает различные размеры блоков предсказания: от 64х64 до 4х4 отсчета.

При внутрикадровом предсказании размер PB равен размеру CB, кроме наименьшего размера. В последнем случае CB может быть разделен на 4 части с различными режимами предсказания. При размере блока 4х4 в яркости, в цветности размер блока тоже 4х4. При межкадровом предсказании CB делится на один, два или четыре PB. Деление на четыре блока возможно только для минимального размера CB. Деление на два блока может быть симметричным или асимметричным (см. рис. 5). Каждому PB с межкадровым предсказанием присваиваются один или два вектора движения и индексы опорных кадров. Межкадровое предсказание не допускается для блоков 4х4, а для блоков 4х8 и 8х4 допускается только однонаправленное предсказание.



Puc. 5. Симметричные и асимметричные варианты разделения блоков предсказания

Пакет преобразования (Transform Unit, TU) и блок преобразования (Transform Block, TB)

К остаточному сигналу предсказания может применяться блочное преобразование. Древовидная структура пакетов преобразования имеет корень на уровне кодового пакета. Кодовый блок остаточного сигнала яркости может совпадать с блоком преобразования или может быть разделен на меньшие блоки преобразования. То же относится и к блокам преобразования цветности. Для квадратных блоков преобразования размером 4х4, 8х8, 16х16 и 32х32 отсчета определены целочисленные базисные функции, «похожие» на дискретное косинусное преобразование. Для блоков преобразования остатков внутрикадрового предсказания размером 4х4 отсчета предусмотрена возможность использования альтернативного целочисленного преобразования, «похожего» на дискретное синусное преобразование.

Внутрикадровое предсказание

Декодированные отсчеты на границах соседних блоков используются в качестве опорных данных для пространственного предсказания в областях блоков предсказания. Внутрикадровое предсказание включает 33 режима с различным направлением предсказания (в

стандарте AVC использовалось 8 направлений предсказания), а также режимы плоскостного и DC предсказания (рис. 6). Причем, направления предсказания «сгущаются» около строго горизонтального и строго вертикального направлений. Выбранный режим предсказания кодируется с использованием трех «наиболее вероятных режимов» на основе режимов ранее закодированных соседних блоков предсказания, в отличие от стандарта AVC, в котором использовался один наиболее вероятный режим.

Векторы движения

В стандарте HEVC используется улучшенное предсказание векторов движения (Advanced Motion Vector Prediction), которое включает определение нескольких наиболее вероятных кандидатов на основе данных соседних блоков предсказания и опорного кадра. Также для кодирования векторов движения может использоваться так называемый режим объединения (merge mode), который позволяет наследовать вектора движения соседних блоков предсказания. Более того, предусмотрено использование улучшенных по сравнению со стандартом AVC режимов предсказания движения: «прямое» (direct) предсказание и пропущенные (skipped) блоки.

Компенсация движения

Для векторов движения используется четвертьпиксельная точность. Для интерполяции промежуточных отсчетов используются семи- и восьмиточечные фильтры. Для сравнения можно указать, что в стандарте AVC используется шеститочечный фильтр для интерполяции полупиксельных отсчетов и билинейная интерполяция четвертьпиксельных отсчетов. Аналогично стандарту AVC в стандарте HEVC предусмотрено использование нескольких опорных кадров. Для каждого блока предсказания передается один или два вектора движения для кодирования с однонаправленным или двунаправленным предсказанием соответственно. В стандарте HEVC, также как и в стандарте AVC, есть возможность использовать взвешенное предсказание, включающее масштабирование и сдвиг сигнала предсказания.

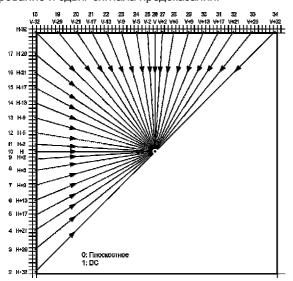


Рис. 6. Режимы внутрикадрового предсказания

Управление квантованием

В стандарте HEVC, как и в стандарте AVC, используется квантование с равномерным восстановлением (Uniform Reconstruction Quantization). Матрицы масштабирования квантования поддерживаются для различных размеров блока преобразования. Перед арифметическим кодированием квантованные коэффициенты преобразования упорядочиваются одним из трех способов: диагональным, горизонтальным или вертикальным (рис. 7).





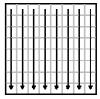


Рис. 7. Варианты упорядочивания квантованных коэффициентов преобразования

Арифметическое кодирование

В качестве завершающей стадии кодирования используется контекстно-адаптивное двоичное арифметическое кодирование (Context Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC). Схема CABAC похожа на схему кодирования в стандарте AVC, но в нее были внесены некоторые улучшения, позволившие повысить скорость обработки (особенно для архитектур с параллельной обработкой) и эффективность компрессии, а также снизить требования к памяти для хранения контекстов.

Деблокинговая фильтрация (Deblocking Filtering, DF)

Деблокинговый фильтр, похожий на фильтр, применяемый в стандарте AVC, включен в петлю обратной связи межкадрового предсказания. Однако структура фильтра упрощена в части выбора режима фильрации, и лучше подходит для параллельной обработки.

Адаптивный сдвиг значений отсчетов (Sample Adaptive Offset, SAO)

Еще одна новация стандарта HEVC – адаптивный (к значениям отсчетов) сдвиг (SAO, Sample Adaptive Offset). Это нелинейное отображение амплитуд в петле обратной связи межкадрового предсказания после деблокинговой фильтрации. Цель SAO - улучшение восстановления оригинальных амплитуд сигнала с помощью таблицы соответствия, которая описывается с помощью нескольких дополнительных параметров, определяемых по анализу гистограммы на стороне кодера, индекс сдвига для каждого отсчета не передается, а определяется в зависимости от локального градиента как на кодере, так и на декодере. Решение о применении SAO принимается на уровне CTB.

В стандарте HEVC расширены специальные виды кодирования:

- режим I-PCM в нем не применяется предсказание, преобразование, квантование и арифметическое кодирование, то есть значения отсчетов передаются напрямую; он может применяться там, где сжатие неэффективно, например для шумоподобного сигнала;
- режим сжатия без потерь в нем не применяется преобразование, квантование и операции фильтрации,

то есть остаточный сигнал предсказания сразу передается на арифметический кодер:

– режим без преобразования – может применяться только к блокам преобразования 4х4 и предназначен главным образом для такого специфического видеоконтента как компьютерная графика, смесь графики и видео (движущийся текст) и пр.

Для демонстрации эффективности кодирования видео по стандарту HEVC приведем результаты сравнения результатов работы различных кодеров, полученные в [8].

В сравнении были использованы следующие кодеры: HM ver.8.0 (H.265 Main Profile), JM ver.18.4 (H.264 High Profile), Fraunhofer HHI MPEG-4 Visual (MPEG-4 Advanced Simple Profile), University of British Columbia H.263 (H.263 Conversational High Compression, High Latency Profile), MPEG Software Simulation ver.1.2 (H.262/MPEG-2 Main Profile).

Для достижения максимально возможной эффективности кодирования кодеры использовали все доступные им методы кодирования, и при этом все кодеры использовали одинаковые стратегии выбора режимов кодирования, оценки движения и квантования.

Сравнение проводилось для двух сценариев: с низкой задержкой и без ограничения задержки. В сценарии с низкой задержкой (типичное использование - видеоконференцсвязь) кодирование проводилось в порядке воспроизведения, только первый кадр кодировался с внутрикадровым предсказанием, остальные - с межкадровым. В сценарии без ограничения задержки использовалась идентичная (для Н.265 и Н.264) или максимально похожая (H.263, MPEG-4 ASP, H.262) иерархическая структура кодируемых кадров. При этом порядок кодирования отличался от порядка воспроизведения. Т.о. кодеры Н.265 и Н.264 были настроены на идентичное поведение, используя все доступные им методы кодирования. Остальные кодеры были настроены на максимально похожее поведение из-за того, что отсутствуют многие возможности по формированию потока (например, возможность создания такой же иерархической структуры кодируемых кадров). В каждом сценарии проводились измерения зависимостей пикового отношения сигнал/шум (PSNR) от скорости кодированного битового потока, а также использовалась экспертная оценка по Рекомендации ITU-R BT.500 [9].

В сценарии с низкой задержкой кодер HEVC превосходит всех предшественников, причем достигнуто сокращение битового потока в среднем на 40% по сравнению с AVC. В сценарии без ограничения задержки кодер HEVC также превосходит всех предшественников, но сокращение битового потока несколько меньше: 35% по сравнению с AVC. В замерах с использованием экспертной оценки кодер HEVC достигает сокращения битового потока в среднем на 50% (диапазон 30%-67%) по сравнению с AVC [8].

Таким образом, новый стандарт HEVC, сочетая в себе эффективные черты предшествующего стандарта AVC и новые технологии, позволил существенно повысить эффективность кодирования и устойчивость к ошибкам передачи, а также расширил возможности использования параллельных вычислений. Применение этого нового

стандарта в цифровом телевидении позволит существенно увеличить количество передаваемых программ в одном мультиплексе, в частности, до 12 телевизионных программ высокой четкости в одном наземном канале [10].

Литература

- 1. ITU-T Recommendation H.261, Video codec for audiovisual services at p x 64 kbit/s, 11/1988 ... 03/1993.
- 2. ITU-T Recommendation H.262, Information technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video, 07/1995 ... 02/2012 // ISO/IEC 13818-2:2000, Information technology Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video (MPEG 2 Video).
- 3. ITU-T Recommendation H.263, Video coding for low bit rate communication, 03/1996 ... 01/2005.
- 4. ITU-T Recommendation H.264, Advanced video coding for generic audio-visual services, 05/2003 ... 04/2013 // ISO/IEC 14496-10:2012, Information technology Coding of audio-visual objects Part 10: Advanced Video Coding (MPEG-4 AVC).
- 5. Gary J. Sullivan, Jens-Rainer Ohm, Woo-Jin Han, Thomas Wiegand, Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 22, #12, 12/2012, pp. 1649-1668.
- 6. ITU-T Recommendation H.265, High efficiency video coding, 04/2013 // ISO/IEC FDIS 23008-2, Information technology High efficiency coding and media delivery in heterogeneous environments Part 2: High efficiency video coding (MPEG-H HEVC).
- 7. Hanan Samet, The Quadtree and Related Hierarchical Data Structures // ACM Computing Surveys, Vol. 16, #2, 06/1984, pp. 187-260.
- 8. Jens-Rainer Ohm, Gary J. Sullivan, Heiko Schwarz, Thiow Keng Tan, Thomas Wiegand, Comparison of the Coding Efficiency of Video Coding Standards –Including High Efficiency Video Coding (HEVC) // IEEE IEEE Tran-sactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 22, #12, 12/2012, pp. 1669-1684.
- 9. Recommendation IUT-R BT.500-13, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures, 01/2012.
- 10. Дворкович А., Дворкович В. Разрешимы ли проблемы эффективного внедрения цифрового телерадиовещания в России? // ИКС Медиа, 25.06.2013. http://www.iksmedia.ru/articles /4947733.html.

NEW POSSIBILITIES OF VIDEO ENCODING STANDARD HEVC

Dvorkovich V.P., Dvorkovich A.V., Gruzov G.U

A detailed review of possibilities and algorithms included into new video encoding standard HEVC is presented. The description of standard and it characteristic features include target applications, main tasks of researches, general scheme of encoder and principal differences with previous standards. High level syntax of HEVC standard is derived from syntax of AVC standard but has a set of improvements and novelties. Differences of video encoding layer of HEVC with respect to AVC are analyzed. Finally a brief results of HEVC coding efficiency is presented showing growth in 35-40% using PSNR measure and more than 30-67 % using MOS with respect to AVC coding.