

Проблемы применения реконфигурируемых вычислительных систем для обработки сигналов ТУВЧ

В.П. Дворкович¹, И.А. Каляев², И.И. Левин², М.К. Чобану¹

¹ФГУП Главный радиочастотный центр, Москва, tchobanou@yahoo.com

²НИИ МВС им. акад. А.В. Каляева ЮФУ, Таганрог

Аннотация — В условиях, когда алгоритмы обработки и стандарты на телевидение ультравысокой четкости (ТУВЧ) находятся на стадии становления, наиболее приемлемыми для систем обработки сигнала являются реконфигурируемые вычислительные системы на основе ПЛИС. Обладая лучшими показателями эффективности, компактности и экономичности по сравнению с ЭВМ на базе других аппаратных платформ, они позволяют оптимально реализовать обработку сигнала ТУВЧ.

Ключевые слова — ТУВЧ – телевидение ультравысокой четкости, сжатие видеосигналов, реконфигурируемые системы.

I. ВВЕДЕНИЕ

В первое десятилетие XXI века во всем мире активно внедряются системы цифрового телевизионного вещания и его наиболее совершенные модификации –

телевидение повышенной (ТПЧ, или High Definition - HD) и высокой четкости (ТВЧ, или HDTV). Совершенствование технологий обработки, кодирования, передачи и воспроизведения более качественной аудиовизуальной информации связано с стандартизацией еще более качественных телевизионных систем – объемного (так называемого 3D-телевидения) и телевидения ультравысокой четкости (ТУВЧ, или Ultra HDTV – UHD TV, или Super Hi-Vision – SHV), реализующего возможности цифрового кино.

В ближайшие годы в мире ожидается пик развития ТУВЧ-индустрии. Однако активное внедрение системы ТУВЧ, в особенности стандарта 4320p с разрешением вдоль строк в 7680 пикселей и числом строк 4320, в настоящее время существенно ограничивается отсутствием высокоэффективных кодеков реального времени [1 - 5]. В табл.1 приведены основные параметры модификаций этих телевизионных систем.

Таблица 1

Основные параметры видеоинформации для различных приложений

Тип, наименование формата		Размер кадра, обозначение	Модель цветности, количество бит	Частота кадров в секунду, тип развертки	Скорость цифрового потока, Мбит/с
ТПЧ, w720p - HD		1280x720	4:2:0, 12	50 или 60, Прогрессивная	264 – 844
			4:2:2, 16		
ТВЧ	w1080i - HD	1920x1080	4:2:2, 16	25 или 30, Чересстрочная	790 – 940
	w1080p - UHD		4:2:2, 20	50 или 60, Прогрессивная	790 – 1900
ТУВЧ	w1080p - UHD	1920x1080 H0 (2K)	4:2:2, 24	60, Прогрессивная	2370
	w2160p - UHD	3840x2160 H1 (4K)			9490
	w3240p - UHD TV	5760x3240 H2 (6K)			38400
	w4320p - UHD TV	7680x4320 H3 (8K)	4:4:4, 36		68300

Несжатый поток информации для широко распространенного в настоящее время формата ТВЧ 1080p составляет до 1,9 Гбит/с. После кодирования по стандарту MPEG-4/H.264 AVC он сокращается до 4-10 Мбит/с. По оценкам специалистов, для формата ТУВЧ 4320p с несжатым потоком в 70 Гбит/с после сжатия поток может составить всего 24 Мбит/с, т.е. в среднем всего в 2-3 раза выше, чем для формата ТВЧ.

В то же время коэффициенты сжатия для ТВЧ и для ТУВЧ составляют до 500 и до 3000, соответственно. Это обстоятельство объясняется использованием более высокой корреляции между смежными пикселями в кадре ТУВЧ и потенциальным усовершенствованием методов цифровой обработки видеоинформации и говорит о том, что требуемая пропускная способность каналов соответствует настоящему уровню развития телекоммуникаций.

Сравнительные размеры различных телевизионных форматов ТПЧ/ТВЧ/ТУВЧ приведены на рис. 1.

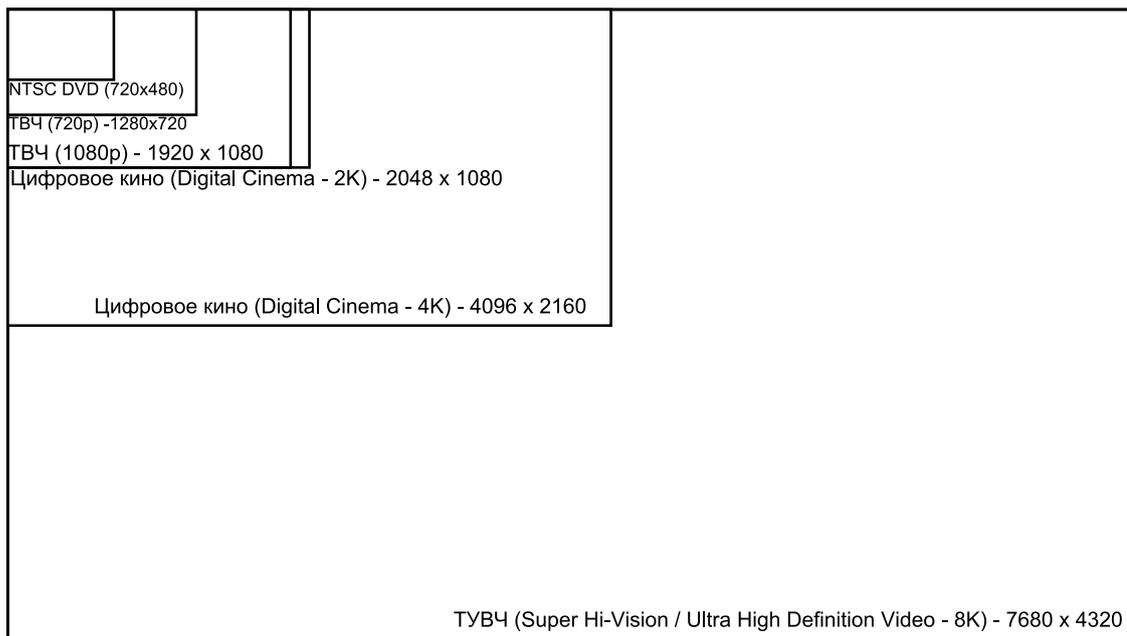


Рис. 1. Сравнительные размеры различных телевизионных форматов

Обработка сигналов в реальном масштабе времени в современных мультимедийных системах (включая современные системы телевизионного вещания, видеоконференцсвязи, системы обработки медицинских изображений и др.) и, в первую очередь, в системах ТУВЧ требует высокоэффективных вычислительных платформ.

Вычислительные платформы по необходимости должны предусматривать их адаптацию под разные алгоритмы кодеков, условия передачи, форматы, возможности воспроизведения. Несмотря на значительные успехи в микроэлектронике, перспективные системы мультимедиа реального времени очень сложно реализовать на основе традиционных вычислительных архитектур. Для реализации систем ТУВЧ требуется использование реализации специализированных архитектур, которые бы не только обеспечивали высокоскоростную обработку информации, но были бы достаточно гибкими для поддержки различных стандартов и условий работы. В этом свете особый интерес для построения систем обработки сигналов ТУВЧ в реальном времени представляют реконфигурируемые вычислительные системы (РВС) на основе ПЛИС, обладающие высокой реальной производительностью и свойством адаптации архитектуры к структуре решаемой задачи.

II. РЕКОНФИГУРИРУЕМЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Реконфигурируемые вычислительные системы являются новым направлением в развитии суперкомпьютеров, в которых в качестве основного вычислительного элемента используются не универсальные микропроцессоры, а множество соединенных между собой

ПЛИС высокой интеграции, образующих единое вычислительное поле [6, 7]. В отличие от суперЭВМ других архитектур реконфигурируемые системы имеют возможность адаптации архитектуры к информационной структуре решаемой задачи или ее фрагмента, за счет чего обеспечиваются высокая реальная производительность, близкая к пиковой (не ниже 60%), и линейный рост производительности в зависимости от наращивания аппаратного ресурса. Как показали проведенные исследования [6, 7], РВС особенно эффективны при решении вычислительно трудоемких и «сильносвязанных» задач, к которым можно отнести и задачи обработки сигнала ТУВЧ. Особенно высокую эффективность РВС показывают при обработке данных нестандартных форматов или при вычислениях с переменной разрядностью (на разных стадиях алгоритмов), что особенно актуально для цифровой обработки сигналов и, в частности, обработки сигналов ТУВЧ. В то же время РВС обеспечивают возможность обработки данных в общепринятых форматах с фиксированной запятой, а также в соответствии со стандартом IEEE-754 выполнения операций с данными в формате с плавающей запятой одинарной и удвоенной точности.

РВС обладают значительно лучшими характеристиками по сравнению с многопроцессорными вычислительными системами традиционных архитектур, в частности:

- 1) эффективность РВС (отношение «реальная производительность/пиковая производительность») выше в 4-5 раз;
- 2) энергоэффективность РВС (отношение «реальная производительность/потребляемая мощность») выше в 2-3 раза;

3) компактность РВС (отношение «реальная производительность/объем») выше в 1,5-2 раза;

4) экономичность РВС (отношение «реальная производительность/стоимость») выше в 2 раза.

При цифровой обработке сигналов и изображений их преимущество еще больше. Этот выигрыш достигается, в том числе, за счет введения в состав ПЛИС специальных блоков, ориентированных на цифровую обработку сигналов. Например, одна ПЛИС XC6V SX475T семейства Virtex-6, содержащая 2016 блоков DSP48E1, работающих на частоте 400 МГц, обеспечивает производительность более $2,4 \cdot 10^{12}$ операций с фиксированной запятой в секунду (2,4 Топ/с), тогда как самые производительные DSP-процессоры фирм Analog Devices и Texas Instruments, работающие на частотах 500-1000 МГц, имеют производительность не выше 10^{10} оп/с (10 Гоп/с).

Таким образом, следует сделать вывод о том, что РВС на основе ПЛИС, обладая программируемой платформой и обеспечивая высокие показатели эффективности, компактности и экономичности, в настоящее время наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к вычислительным средствам обработки сигналов ТУВЧ.

III. ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА В РВС

В отличие от традиционных многопроцессорных систем, в которых каждый процессор выполняет отдельную программу, вычислительный процесс в РВС организуется аппаратной реализацией в вычислительном поле ПЛИС информационного графа решаемой задачи.

Под информационным графом [8] понимается граф, вершины которого соответствуют арифметико-логическим операциям над операндами и ячейкам (каналам) памяти, в которых расположены информационные массивы. Дуги информационного графа соответствуют информационной зависимости между вершинами.

Основная идея концепции РВС заключается в аппаратной реализации всех операций, предписанных вершинам информационного графа задачи, всех каналов передачи данных между вершинами, соответствующих дугам графа, и всех информационных каналов, соответствующих входным и выходным вершинам. В этом случае задача, определенная информационным графом, будет выполнена максимально быстро, поскольку обеспечивается максимально возможное распараллеливание вычислений. Такое решение задачи принято называть структурным [6, 7]. При изменении задачи поле ПЛИС может быть перепрограммировано (реконфигурировано) под новую задачу.

При реализации РВС оптимальным представляется создание большого поля ПЛИС и отображение всего информационного графа задачи на объединенный схмотехнический ресурс этого поля. Однако, как правило, это сделать невозможно практически из-за огром-

ного количества вершин информационных графов реальных задач и из-за физических ограничений, накладываемых конструктивными и экономическими факторами на аппаратную реализацию РВС. Поэтому информационный граф задачи необходимо сегментировать на непересекающиеся подграфы определенного размера, каждый из которых может быть структурно реализован в имеющемся вычислительном поле ПЛИС.

В этом случае вычислительный процесс в РВС на основе ПЛИС организуется следующим образом. В аппаратном ресурсе РВС реализуется один из подграфов сегментированного информационного графа задачи, и на его входы из блоков памяти подаются входные данные этого фрагмента. Процесс вычисления реализуется вычислительной структурой, соответствующей данному подграфу, и на выходе формируется результат вычислений, который запоминается в соответствующих блоках памяти. Далее в аппаратном ресурсе РВС реализуется следующий подграф сегментированного информационного графа задачи, и процесс повторяется.

Очередность реализации подграфов определяется их информационной зависимостью. При этом возможны различные варианты реализации, не нарушающие информационную зависимость подграфов.

Кадр представляет собой реализованный в аппаратном ресурсе РВС подграф задачи, через который следует поток данных. Механизм последовательного обхода подграфов информационного графа задачи принято называть структурно-процедурной организацией вычислений.

IV. АППАРАТНАЯ ПЛАТФОРМА РВС

Аппаратная платформа высокопроизводительных РВС строится по модульному принципу из однотипных базовых модулей. Каждый базовый модуль содержит фрагмент вычислительного поля из ПЛИС и средства для объединения этих фрагментов в единый вычислительный ресурс [6, 7]. В качестве примера рассмотрим аппаратную платформу высокопроизводительных РВС на основе ПЛИС семейств Virtex 5 и Virtex 6 фирмы Xilinx [8].

Принцип открытой масштабируемой архитектуры, который был положен в основу разработки РВС в 2010 году, привел к появлению нового семейства вычислительных систем под названием «Орион». В рамках этих работ была создана плата модифицированного вычислительного модуля «Орион-5» с новой компоновкой и конструктивными решениями на основе ПЛИС семейства Virtex 5. В 2011 г. были разработаны и выпускаются платы и вычислительные модули РВС нового поколения на основе ПЛИС семейства Virtex-6. Модули выпускаются в двух конструктивных исполнениях – «Саиф» 6U и «Ригель» 1U, названных именами звезд из небесного созвездия Орион.

На основе этих плат выпускаются вычислительные модули размером 1U, на основе которых строятся РВС

высокой производительности. В 2011 году разработана плата вычислительного модуля MM475, предназначенная для построения высокопроизводительных систем мониторинга телекоммуникационных сетей и обработки сигналов. Плата вычислительного модуля MM475 обладает следующими характеристиками:

- тип ПЛИС Virtex-6 вычислительного поля – XC6V SX475T-1FFG1759C;
- количество ПЛИС вычислительного поля – 8;
- количество элементарных процессоров – 16384;
- пиковая производительность, операция/с – $16,2 \cdot 10^{12}$, пиковая производительность, флорпс – $1 \cdot 10^{12}$;
- количество входов/выходов LVDS (1,2 ГГц) – 312;
- количество входов/выходов RocketGTX (5,0 ГГц) – 512;
- суммарная скорость обмена, бит/с – $2,4 \cdot 10^{12}$.

Одновременно ведется проработка вариантов изделий на ПЛИС семейства Virtex-7.

V. АЛГОРИТМ КОДЕКА ТУВЧ НА ОСНОВЕ MPEG-2

Базовые параметры системы ТУВЧ обеспечивают усиление визуального впечатления зрителей. Для ТУВЧ требуется устройство отображения и дисплей на 32 миллиона пикселей. При этом ТУВЧ-камера использует четыре панели по 8 миллионов пикселей каждая для зеленого 1-го (G1), зеленого 2-го (G2), красного (R) и синего (B) каналов с использованием метода сдвига пикселей с целью увеличения эффективного числа пикселей как по горизонтали, так и по вертикали. На рис. 2 показана компоновка пространственной выборки пикселей согласно данному методу [9].

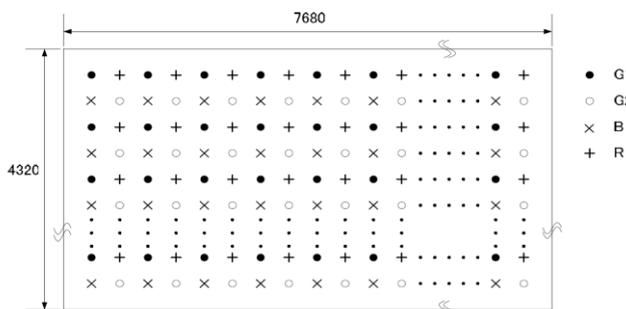


Рис. 2. Компоновка пространственной выборки пикселей по методу сдвига пикселей

Для реализации сервисов вещания ТУВЧ был разработан алгоритм видеокodeка эффективной передачи и записи ТУВЧ-сигналов. Он состоит из блоков преобразователя видеоформата, видеокodeка и аудиокodeка. Остановимся только на операциях преобразования видеоформата.

Для того чтобы закодировать ТУВЧ-сигналы в формате $Y_1 Y_2 Cb Cr$, выполняется преобразование исходных ТУВЧ-сигналов. Преобразователь видеоформата преобразует 7680×4320 (G1, G2, B и R) формат в

шестнадцать изображений $1920 \times 1080/30$ Psf (прогрессивный сегментированный кадр), где ТУВЧ-изображение делится на пространственно-временные части. Преобразование цветового формата основано на следующем соотношении:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7152 & 0.0000 & 0.0722 & 0.2126 \\ 0.0000 & 0.7152 & 0.0722 & 0.2126 \\ -0.1927 & -0.1927 & 0.5000 & -0.1116 \\ -0.2271 & -0.2271 & -0.0458 & 0.5000 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ R \\ B \end{bmatrix} \quad (1).$$

Сигнал ТУВЧ форматируется с помощью метода сдвига пикселей (pixel-offset method). Каждый компонент сигнала (G1, G2, B и R) составляет четвертую часть размера ТУВЧ и упорядочивается в соответствии со сдвигом пикселей. Так как после преобразования видеоформата формируются два сигнала яркости Y_1 и Y_2 , то число значимых пикселей становится равным половине общей площади изображения ТУВЧ.

Следовательно, в случае преобразования в шестнадцать сигналов HD-SDI сигналы ТУВЧ должны быть разделены в пространственной области на восемь частей, а во временной – на две части. Пространственное разделение может осуществляться в двух режимах: четыре горизонтальные части и две вертикальные части (разделение «Н»); две горизонтальные части и четыре вертикальные части (разделение «V»). Исследования показали, что более предпочтительным оказалось разделение «Н».

В качестве основной системы для первой версии codeка ТУВЧ был выбран codeк MPEG-2 с его проверенной технологией. Видеокodeк на основе стандарта MPEG-2 состоит из четырех подcodeков для 3840×2160 изображений. Подcodeк содержит четыре одноблоковых codeка ТВЧ MPEG-2 и многоканальный синхронизатор кадров. Для сжатия больших изображений, превышающих разрешение ТВЧ с помощью видеокodeирования по стандарту MPEG-2, необходимо разделить изображение ТУВЧ на некоторое число ТВЧ-блоков.

Поскольку векторы движения в изображениях с высоким разрешением часто существенно превышают размеры векторов движения в изображениях с низким разрешением, необходима реализация в codeре оценки движения с более широким поисковым диапазоном. Поисковый диапазон векторов разрабатываемого codeка достигает $\pm 211,5$ пикселей по горизонтали и $\pm 113,5$ пикселей по вертикали, превышая показатели существующих общераспространенных codeров.

При оценке производительности вычислительных средств, необходимых для выполнения сжатия сигнала ТУВЧ формата $w4320p$ в реальном масштабе времени, за основу принимают используемые в настоящее время вычислительные мощности кодирования ТВ-сигнала высокой четкости ТВЧ-формата $w1080p$.

Разрешающую способность данных ТУВЧ-формата $w4320p$ следует считать равной 48 битам (для RGB или иной цветовой модели), что в два раза больше разре-

шающей способности ТВЧ-формата w1080p. Разрешение ТУВЧ 8192 x 4320 в 16 раз выше разрешения для ТВЧ – 1920x1080. Число кадров в секунду ТУВЧ равно 100-120 кадров при тенденции перехода на 200-250 кадров, вместо 50 (100) кадров в секунду для ТВЧ – в 4 раза больше. Цветовая модель для ТУВЧ – 4:4:4 вместо 4:2:0 для ТВЧ. Таким образом, суммарный поток нежатого видео ТУВЧ составляет примерно 70 Гбит/с. При использовании 3D-TV поток возрастает пропорционально – в 2 раза.

Предварительная обработка может включать в себя преобразование цветовой модели. Ее сложность составляет примерно 50 операций на пиксел и столько же операций на коррекцию геометрических и яркостных/цветовых параметров матриц (ввод осуществляется, как правило, несколькими матрицами без устранения искажений структурной матрицы), т.е. всего примерно 100 оп/пиксел.

Используя масштабные коэффициенты, учитывая вышеперечисленные факторы, нетрудно оценить, что количество операций на кадр составит примерно $18500 \cdot 10^9$. Формирование транспортного потока MPEG-2 требует дополнительно $12 \cdot 10^9$ операций.

На основании приведенных оценок требуемого количества вычислительных операций для обработки одного кадра телевизионного сигнала ТУВЧ можно констатировать, что для обработки сигнала в реальном времени требуются вычислительные средства с суммарной производительностью порядка 20×10^{12} операций в секунду. Коммуникационные возможности системы обработки должны обеспечивать ввод потока данных со скоростью не менее 70 Гбит/с и вывод результатов обработки со скоростью 25 Гбит/с.

Осуществить подобные преобразования видеосигнала можно на ЭВМ кластерной архитектуры. Однако современный кластер такой производительности будет занимать целую стойку и иметь энергопотребление минимум 20 кВт [9].

На основании оценки производительности и пропускной способности каналов ввода/вывода можно сделать вывод, что для создания устройств обработки сигнала ТУВЧ достаточно одной платы MM475 на основе восьми ПЛИС семейства Virtex-6 или MM777 на основе шести ПЛИС семейства Virtex-7.

Входной поток сигнала ТУВЧ со скоростью 70 Гбит/с может быть разделен между восемью ПЛИС вычислительного поля на восемь потоков по 9 Гбит/с. Этого достаточно, чтобы в каждую ПЛИС в реальном масштабе времени были загружены два подкадра (из 16 подкадров) размером 1920x1080, на которые был разделен полный кадр ТУВЧ. При этом вычислительные возможности каждой ПЛИС могут обеспечить до 2,7 Топ/с или до 120 Гфлопс, что вполне достаточно для обработки данных по алгоритмам преобразования видеоформата, видеокодека в двух подкадрах.

Внутрикадровая синхронизация при объединении обработанных шестнадцати подкадров обеспечивается

использованием единого системного времени. Формирование выходного потока также реально, поскольку каждая ПЛИС вычислительного поля MM475 может обеспечить скорость передачи данных во внешнюю аппаратуру со скоростью до 128 Гбит/с при требуемой скорости 25 Гбит в секунду.

Таким образом, одна плата MM475, ориентированная на построение высокопроизводительных систем мониторинга телекоммуникационных сетей и обработки сигналов, по своим техническим параметрам вполне удовлетворяет требованиям обработки сигналов ТУВЧ в реальном масштабе времени.

VI. H.265/HEVC – ПРОЕКТ НОВОГО СТАНДАРТА СЖАТИЯ ВИДЕОСИГНАЛОВ

После нескольких лет усовершенствований аппаратные средства удалось привести в соответствие с вычислительными требованиями стандарта H.264. Тем не менее, Комитет по стандартам занят в настоящее время принятием решения по элементам нового стандарта сжатия видеосигналов, который, как предполагается, вновь наполовину уменьшит скорость битового потока по сравнению с предыдущими наилучшими вариантами решений при сопоставимом качестве изображения.

Предполагается получить до 20% улучшения объективных критериев, при этом оставшая часть улучшения будет связана с изменением субъективной оценки, т.е. в стандарте H.265 будут допускаться большие потери, чем в H.264, но эти потери будут не так очевидны для восприятия.

Для лучшей оценки методов и поддержки развития в качестве базового программного обеспечения группой VCEG была разработана ключевая техническая область (КТА), взявшая за основу стандарт JM11 и непрерывно интегрирующая перспективные средства кодирования. В КТА в настоящее время приняты следующие методы.

- Предсказание с компенсацией движения (MCP) с высоким разрешением. Разрешение вектора движения увеличено от обычно используемого 1/4-пиксела до 1/8-пиксела, что особенно эффективно для видеопоследовательностей с низким разрешением.

- Адаптивный выбор матрицы квантования (Adaptive quantization matrix selection - AQMS). Матрица квантования формируется в процессе работы или выбирается из заранее определенной группы вариантов на уровне макроблока. Выбор основан на критерии R-D (Rate-Distortion, ошибка-сжатие) и помечается в битовом потоке.

- Адаптивное кодирование ошибки предсказания (Adaptive prediction error coding - APES). При повышении точности предсказания корреляция остаточных сигналов уменьшается, поэтому преобразование иногда становится неэффективным для уплотнения энергии. APES позволяет кодировать остаточные данные в области преобразования или в пространственной об-

ласти с принятием решения и сигнализацией вниз на уровень блока преобразования.

- Увеличение размеров блока для предсказания с компенсацией движения (MCP) и преобразования. Размер макроблока увеличивается до 32x32 или 64x64, размеры MCP масштабируются соответственно. Принято также 2D-преобразование 16-го порядка для остаточных блоков, формируемых блоком компенсации движения, большим или равным 16x16.

- Конкурентное предсказание векторов движения. Вместо одного отдельного модуля предсказания вектора движения (как в стандарте H.264/AVC), наборы пространственных, временных и пространственно-временных модулей предсказания конкурируют друг с другом; при этом выигрывает модуль предсказания с наилучшими характеристиками R-D.

- Адаптивный интерполяционный фильтр (AIF). Коэффициенты AIF (его импульсная характеристика) уточняются на уровне изображения и кодируются как дополнительная информация.

- Направленное преобразование, зависящее от режима (MDDT, Mode-dependent directional transform). Для режимов внутрикадрового (INTRA) предсказания с сильно выраженной направленностью, например, вертикального и горизонтального режима, соответствующие преобразования MDDT вычисляются с помощью вейвлет- или KLT (преобразование Карунена-Лоэва) для обозначения высокого уровня энергии вдоль указанных направлений. Тип преобразования MDDT привязывается к выбранному режиму внутрикадрового предсказания, поэтому он не помечается явно.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможно, с точки зрения экономической целесообразности для систем обработки сигналов ТУВЧ наиболее приемлемым представляется создание специализированной микросхемы. Такое решение было бы оптимальным в условиях массового выпуска бытовой и профессиональной аппаратуры обработки сигнала перспективного стандарта телевидения.

Однако в современных условиях, когда алгоритмы обработки и стандарты на ТУВЧ находятся на стадии становления, наиболее приемлемыми являются программируемые вычислительные платформы, позволяющие реализовывать различные, в том числе и экспериментальные, подходы к созданию алгоритмов обработки.

Программируемые вычислительные платформы, обеспечивающие реальную производительность свыше 20 Топ/с, могут быть различными. Наиболее распространенные в настоящее время кластерные суперЭВМ, развивающие такую производительность, совсем недавно входили в список TOP500 самых производительных суперЭВМ в мире. В 2011 году кластерная

ЭВМ с такой производительностью занимает одну или две стойки, имеет потребляемую мощность порядка 20–30 кВт и стоимость 10-15 миллионов рублей. Особую проблему для кластерной ЭВМ представляет подсистема ввода данных со скоростью 70 Гбит/с одновременно во множество вычислительных узлов кластера для обеспечения параллельной обработки информации.

В свете этого плата MM475 производительностью 21,8 Топ/с и с возможностью параллельного ввода данных с необходимой скоростью сразу во все ПЛИС вычислительного поля, имеющая энергопотребление всего 350 Вт, выглядит наиболее привлекательной аппаратной платформой для обработки в реальном времени сигналов ТУВЧ. Программируемость аппаратной платформы MM475 позволяет реализовать практически любые стандарты обработки сигнала ТУВЧ и поставить необходимые эксперименты для отработки технических решений.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 12-07-00762-а и 12-07-00388-а.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Morello A., Mignone V., Shogen K., Sujikai H., Super Hi-Vision – delivery perspectives, EBU Technical Review, 2009. – P. 1-10.
- [2] Кривошеев М.И., Федунин В.Г. Видеoinформационные системы на основе телевидения высокой и сверхвысокой четкости // Broadcasting. Телевидение и радиовещание.- 2009.- №3.- С. 26-31.
- [3] Дворкович В., Чобану М. Проблемы и перспективы развития систем кодирования динамических изображений // Mediavision.- 2011.- № 2-5, 7-8.
- [4] Дворкович В.П., Чобану М.К. Разработка системы сжатия для телевидения ультравысокой четкости (ТУВЧ). Труды Международной научно-технической конференции «Суперкомпьютерные технологии-2010», Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФ. – Т. 2 - С. 179-183.
- [5] Дворкович В., Чобану М. Телевидение послезавтрашнего дня // Радиочастотный спектр.- 2010.- №4.- С. 26-31.
- [6] Каляев А.В., Левин И.И. Модульно-наращиваемые многопроцессорные системы со структурно-процедурной организацией вычислений. - М.: Янус-К, 2003. – 380 с.
- [7] Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультимедийные вычислительные структуры /Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под общ. ред. И.А. Каляева. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
- [8] Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 599 с.
- [9] Дворкович В.П., Левин И.И., Семерников Е.И., Чобану М.К.. Применение реконфигурируемых вычислительных систем для обработки сигналов телевидения ультравысокой четкости // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2012.- №2. - С. 14-20.