

**КОМПРЕССИЯ ВИДЕОСИГНАЛОВ ЦИФРОВОГО  
ТЕЛЕВИДЕНИЯ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ. ЧАСТЬ 1**

**МАИН ХУССЕЙН, ГАССАН ХАЛИЛЬ**

Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирийская Арабская Республика

**VIDEOSIGNALS COMPRESSIONS FOR  
HIGH DEFINITION DIGITAL TELEVISION. PART 1**

**MAIN HYSSEIN, GASSAN HALIL**

Arabic Republic of Syria

*Выполнен обзор методов компрессии (сжатия) сигналов цифрового телевизионного вещания, рассмотрены основные инструменты кодирования, используемые в стандарте H.264/MPEG-4/AVC, приведено описание методов и технологий кодирования, используемых в стандарте. Приведена оценка качества по сравнению с другими стандартами видеокодирования.*

*The review of encoding methods of signals for the digital television broadcasting is executed, encoding basic instruments are considered in-use in the standard of H.264/MPEG-4/AVC, types and levels of standard is resulted. Estimation of quality is resulted as compared to other standards of videoencoding.*

В полном телевизионном изображении высокой четкости (Full HDTV) предусматривается 1920 элементов изображения (ЭИ) для каждого передаваемого кадра в горизонтальном направлении экрана и 1080 ЭИ (пикселей) – в вертикальном направлении. Произведения этих цифр дает более 2 млн. ЭИ, а с учетом того, что изображение должно быть цветным, т.е. состоящим из трех цветовых компонент (R, G, B), а также изменяться по яркости, общее число пикселей в каждом кадре превышает 6 млн. Поскольку скорость обновления информации в ТВ-вещании составляет 50 (60) передаваемых кадров в секунду, то передача такого значительного объема информации требует существенного частотного ресурса.

Сжатие (компрессия) телевизионного видеосигнала высокой четкости ставит своей целью сужение требуемой для такого сигнала полосы радиочастот и увеличение числа транслируемых каналов в отведенной полосе частот. Для этой цели актуальным на сегодняшний день является применение стандарта H.264/MPEG-4/AVC. Он изначально ориентирован на использование, прежде всего, в телекоммуникационных системах, особенное внимание в нем уделяется увеличению помехоустойчивости и обеспечению гибкости представления информации, необходимой для обеспечения удобства передачи закодированной видеoinформации по разным сетям. Стандартом предусмотрены алгоритмы разделения закодированного потока на блоки, что обеспечивает необходимые для каждого случая характеристики информационного представления.

Видеокадры в стандарте H.264/MPEG-4/AVC кодируются в виде одного или нескольких слоев, в каждом из которых содержится целое количество макроблоков - от 1 до полного количества макроблоков на снимке (в этом случае весь снимок содержится на одном слое). Количество макроблоков в снимке должно быть одинаковым в границах каждого снимка. Существует минимальная зависимость между закодированными слоями, которая помогает ограничивать распространение ошибок. Всего в стандарте обозначено пять типов закодированных слоев (см. таблицу 1), также закодированные снимки могут содержать слои разных типов. Например, закодированные снимки базового профиля могут содержать слои I и P, а снимки основного и расширенного профилей могут содержать слои I, P и B.

Таблица 1 Типы слоев H.264/MPEG-4/AVC

Тип слоя	Описание	Профили
I (Intra)	Содержит только I-макроблоки (каждый блок или макроблок предусматривается по ранее закодированным данным того же слоя)	Все
P (Predicted)	Состоит из P- макроблоков (каждый макроблок или его часть на макроблоке предусматривает по одному списку 0/1 ссылочных кадров) и/или из I-макроблоков	Все
B (Bi-predicted)	Состоит из B- макроблоков (каждый макроблок или часть макроблока предусматривает по списку 0 или по списку 1 ссылочных кадров) и/или с I- макроблоков	Расширенно основной
SP (Switching P)	Позволяет переключаться между кодируемыми потоками, состоит из P- и/или I- макроблоков	Расширен
SI (Switching I)	Позволяет переключаться между кодируемыми потоками, состоит из SI-макроблоков (особенный тип макроблоков)	Расширен

*Список 0 и список 1 - два списка, формируемые в кодере и декодере, которые содержат кадры, находящиеся в прошлом или будущем по отношению к текущему кадру.*

Кодер H.264/MPEG-4/AVC может использовать один или два из ранее закодированных кадров как ссылку для формирования экстраполяционной компенсации движения при кодировке макроблоков или их частей в режиме *inter*. Это позволяет кодери искать лучшее "сходство" частей текущего макроблока в большем множестве снимков по сравнению с использованием только одного предыдущего снимка.

Кодер и декодер создают по два одинаковых списка ссылочных снимков, в том числе ранее закодированные и декодированные снимки (которые могут находиться до или после текущего снимка при воссоздании). P- макроблоки в режиме *inter*, а также части макроблоков с P-слоями предусматриваются на основе снимков из одного списка - списка 0. Предвидение для макроблоков и их частей, кодируемых в режиме *inter* с B- слоями могут создаваться по двум спискам - списку 0 и списку 1.

Макроблок состоит из закодированных данных, отвечающих областям элементов изображения размером 16 x 16 на видеокадре (16 x 16 ЭИ яркости, 8 x 8 ЭИ в каждом из цветоразностных каналов Cr и Cb). Макроблоки нумеруются (адресуются) в порядке растрового сканирования кадров.

Таблица 2 Синтаксис элементов макроблока

Код	Значение
mb_type	Определяет режим кодирования макроблока: intra или inter (P или B); задает размеры частей макроблоков
mb-pred	Определяет режим предсказания intra (I-макроблоков); определяет опорный список 0 и/или список 1 и векторы движения, закодированные отдельно для каждого разделения макроблока
sub_mb_pred	Определяет: размерность разделения на субблоки каждой части макроблока; список 0 и / или список 1 опорных кадров для каждого разделения макроблока; отдельно закодированные векторы движения для каждого подразделения макроблока. (Только для частей макроблока 8 x 8).
mb_qp_delta	Шаг изменения параметров квантователя
residual	Закодированные коэффициенты преобразования, соответствующие элементам остаточного изображения после компенсации движения.

Каждый закодированный макроблок в H.264|MPEG-4/AVC имеет 4 предсказания по ранее закодированным данным. Элементы изображения макроблоков в режиме intra предусматриваются по уже закодированным и возобновленным ЭИ текущего слоя, а ЭИ макроблоков в режиме inter - по ЭИ слоев, которые были закодированы ранее.

Предсказание для текущего макроблока или блока (образец, который больше остальных похож на данный макроблок или блок) создается по закодированным ЭИ изображения (текущего и предыдущего слоя). Это предсказание вычитается от текущего макроблока или блока и полученную разницу (остаток) сжимают и передают декодеру вместе с информацией, необходимой для повторения процесса предсказания (векторы движения, режим предсказания и тому подобное). Декодер создает идентичное предсказание и добавляет его к декодированному остатку или блоку. Кодер создает свое предсказание на кодируемых и декодированных ЭИ (а не на ЭИ оригинального изображения). Это делается для того, чтобы кодер и декодер оперировали с идентичными предсказаниями.

При предсказании в режиме **inter** образец предсказания создается по одному или нескольким видеокадрам или полукадрам, закодированным раньше, на основе поблочной компенсации движения. Важным отличием по сравнению с предыдущими стандартами является возможность менять размеры блоков (от 16x16 до 4x4) и выбора малого шага субэлементов изображения для векторов движения (до одной четвертой элемента яркости). Яркостный компонент для каждого макроблока можно разделить на части несколькими способами (16 x 16, 8 x 16, 16 x 8, 8 x 8). При разбиении макроблока на субмакроблоки 8 x 8 каждый из них можно разбить четырьмя способами (8 x 8, 8 x 4, 4 x 8, 4 x 4). В совокупности эти варианты разбиения дают большое количество комбинаций разбиения каждого макроблока. Этот метод разбиения макроблока на блоки имеет название древовидной структуры компенсации движения. Различные способы разбиения макроблоков приведены на рисунке 1.

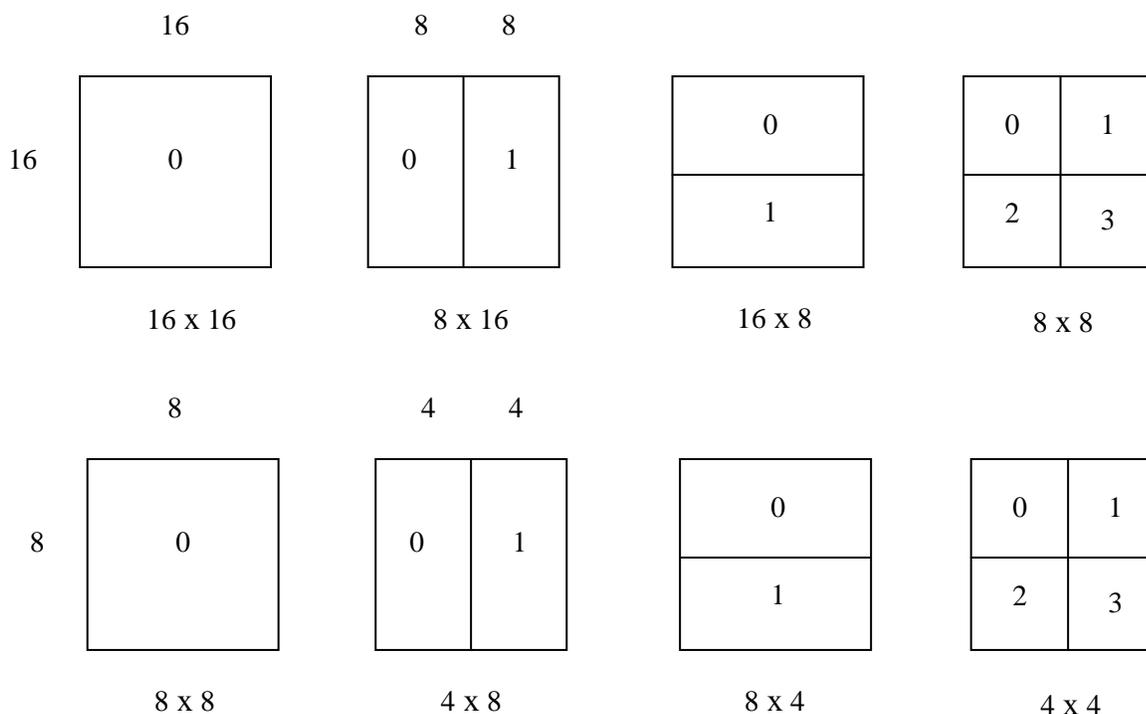


Рисунок 1 - Способы разделения макроблоков (сверху) и субмакроблоков (снизу)

Для каждой части макроблока или субмакроблока необходимо задать собственный вектор движения. Каждый вектор движения должен быть закодирован и передан в декодер. Кроме того необходимо закодировать в цифровом потоке выбранный метод разбития. В случае использования больших частей деления кадра (16 x 16, 8 x 16, 16 x 8, 8 x 8) для передачи векторов движения будет нужно меньшее количество битов, но большие макроблоки приводят к большей энергии остаточных блоков в областях изображения, которые содержат мелкие детали. Использование малого размера частей деления (8 x 8, 8 x 4, 4 x 8, 4 x 4) приводит к малой энергии остаточных блоков после компенсации движения, но нуждается в передаче большего объема информации для передачи векторов движения и способа разделения. Таким образом выбор распределения имеет влияние на степень сжатия видео изображения. Большой размер является более удобным для кодирования однородных частей видеокadra, а малый размер - для кодирования областей с большим количеством мелких деталей.

Цветовые блоки, имеющие половинный размер по сравнению с компонентом яркости, предсказывают по аналогичной методике. Каждый цветовой блок делят на части, учитывая его половинный размер (то есть части 8 на 16 ЭИ яркости отвечают частям 4 на 8 ЭИ цветности). Горизонтальные и вертикальные компоненты векторов движения (по одному на часть деления) делятся надвое перед их применением к цветовому блоку.

При предсказании макроблоков в режиме **intera** предполагаемый блок P формируется по ранее закодированным и восстановленным блокам. Его вычитают от текущего блока перед кодировкой. Блок P рассчитывают для каждого блока 4 x 4 или всего макроблока 16 x 16 ЭИ яркости. Всего существует девять дополнительных режимов для предсказания блоков 4 x 4, (приведено на рисунке 2 и в таблице 3), и четыре режима для блоков 16 x 16. Обычно кодер выбирает режим предсказания, пытаясь минимизировать разницу между кодируемым текущим блоком и блоком P. Еще один режим обозначается I\_PCM позволяет кодеру передавать незакодированное значение ЭИ изображения. Этот режим используется в некоторых случаях при наличии слож-

ных обстоятельств для кодирования (например, аномальное изображение, малые параметры квантователя и тому подобное) и в профилях, позволяющих кодировать видео без потерь.

М	А	В	С	Д	Е	F	G	Н
I	a	b	c	d				
J	e	f	g	h				
K	i	j	k	l				
L	m	n	o	p				

Рисунок 2 - Обозначение элементов изображения для последующего использования при предсказании макроблоков

Таблица 3 Описание режимов предсказания

Название режима	Описание
Режим 0 (вертикальный)	Верхние ЭИ А, В, С, Д экстраполируют по вертикали
Режим 1 (горизонтальный)	Левые ЭИ I, J, K, L экстраполируют по горизонтали
Режим 2 (DC)	Все ЭИ Р предсказываются средним значением ЭИ А-Д и I-L
Режим 3 (диагональный, вниз и влево)	ЭИ интерполируют под углом 45° от правого верхнего угла к нижнему левому углу
Режим 4 (диагональный, вниз и вправо)	ЭИ интерполируют под углом 45° от левого верхнего угла к нижнему правому
Режим 5 (вертикально вправо)	Экстраполяция приблизительно под углом 26,6° от левого верхнего угла в нижний правый
Режим 6 (горизонтально вниз)	Экстраполяция приблизительно под углом 26,6° по горизонтали вниз
Режим 7 (вертикально влево)	Экстраполяция приблизительно под углом 26,6° по вертикали и вправо
Режим 8 (горизонтально вверх)	Интерполяция приблизительно под углом 26,6° по горизонтали вверх

Каждая часть деления макроблока или субмакроблока в режиме *inter* предсказывается по области такого же размера на опорном кадре. Вектор сдвига между двумя областями (вектор движения) имеет точность в четверть элемента изображения для компоненты яркости и одну восьмую ЭИ для компоненты цветности. Элементы яркости и цветности не заданы точно на опорном кадре с субэлементной точностью, поэтому их необходимо рассчитать при помощи интерполяции соседних ЭИ.

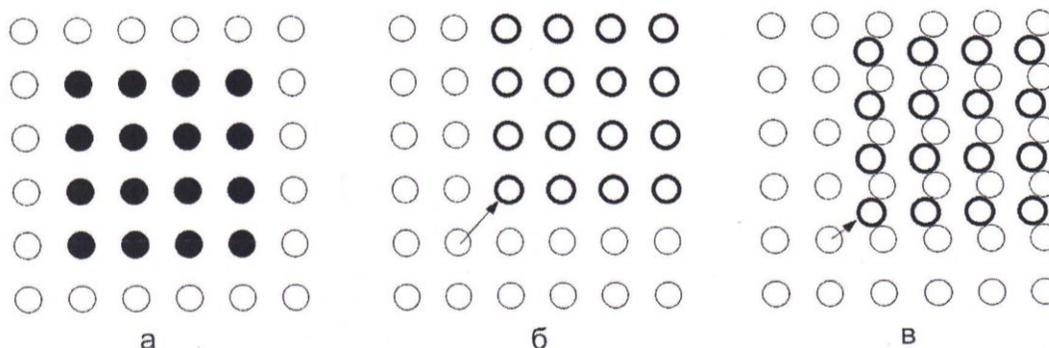


Рисунок 3 - Векторы движения. Блок 4 x 4 на текущем кадре (а), опорный блок с вектором  $[1; 1]$  (б), вектором  $[0,75; 0,5]$  (в).

На рисунке 3 изображено несколько вариантов нахождения вектора движения. Блок размером 4 x 4 текущего кадра (а) предсказывается по области опорного кадра, имеющего позицию, приближенную к положению текущего блока. Если горизонтальные и вертикальные компоненты вектора движения являются целыми числами (б), то соответствующий предсказанный блок ЭИ существует в явном виде на опорном кадре. Если один или оба компонента вектора движения не является целым числом (в), то блок-предсказание генерируют при помощи интерполяции по соседним ЭИ на опорном кадре.

Кодирование векторов движения для всех блоков деления может привести к увеличению скорости цифрового потока, особенно в случае выбора малого размера блоков. В то же время векторы движения соседних блоков часто являются коррелируемыми, поэтому их можно предсказывать по соседним векторам блоков, которые были закодированы раньше.

Вектор-предсказание  $MV_p$  формируется на основе векторов движения, которые были рассчитаны раньше, и вектора  $MVD$  - разницы между текущим вектором движения и вектором предсказания, который кодируют и передают. Метод расчета  $MV_p$  зависит от размера блока деления и от доступности соседних векторов.

К каждому декодированному макроблоку применяется деблокирующий фильтр, основная цель которого - уменьшение блочных артефактов. Этот фильтр используют после обратного преобразования кодером (до возобновления и сохранения макроблока для использования в следующих предсказаниях) и декодером (до возобновления и демонстрации на экране). Фильтр сглаживает границы блоков и улучшает вид кадра. Отфильтрованное изображение используется при предсказаниях компенсации движения следующих кадров. Эта процедура может улучшить коэффициент сжатия, поскольку отфильтрованное изображение чаще бывает более похожим на оригинальный кадр, чем изображение, не прошедшее через фильтр.

Обычно выполняют следующие операции фильтрации (рисунок 4):

1. Фильтрация четырех вертикальных границ компонента яркости (в последовательности а, б, с, д);
2. Фильтрация четырех горизонтальных границ компонента яркости (в последовательности е, ф, г, h);
3. Фильтрация двух вертикальных границ компонентов цветности (i, j);
4. Фильтрация двух горизонтальных границ компонентов цветности (k, l).

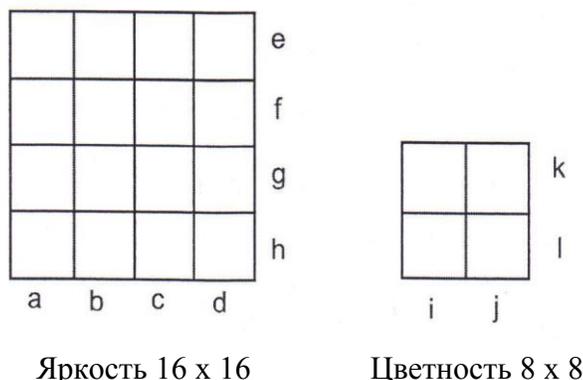


Рисунок 4 - Порядок фильтрации границ макроблока

Каждая фильтрация относится к трем ЭИ с двух сторон границы между блоками. На рисунке 5 показано по четыре ЭИ с каждой стороны от вертикальной или горизонтальной границы распределения соседних блоков p и q. Интенсивность фильтрации зависит от текущих параметров квантователя, режимов кодирования соседних блоков и направлений градиентов значений ЭИ на границе распределения.

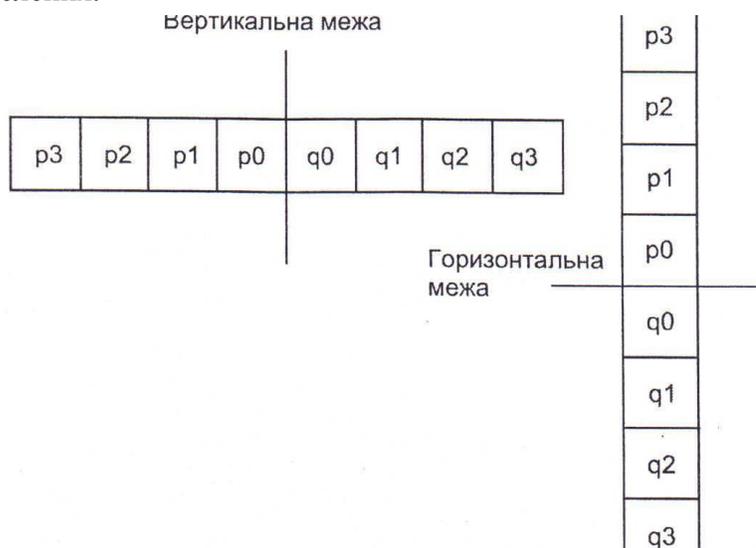


Рисунок. 5 - Обозначение ЭИ в случае их расположения вблизи границы

Слои типа В (bidirectional) используют для двунаправленного предсказания с целью увеличения степени сжатия видеосигнала.

В режиме **inter** каждый блок деления макроблока В- слоя может быть предсказан по одному или по двум опорным кадрам, расположенным в хронологическом порядке до или после текущего кадра. В зависимости от опорных кадров, которые сохраняются кодером и декодером, это обеспечивает широкий выбор параметров предсказания макроблоков типа В. Например, для предсказания могут быть использованы предыдущий и следующий кадры, два следующих, или два предыдущих кадра (рисунок 6).

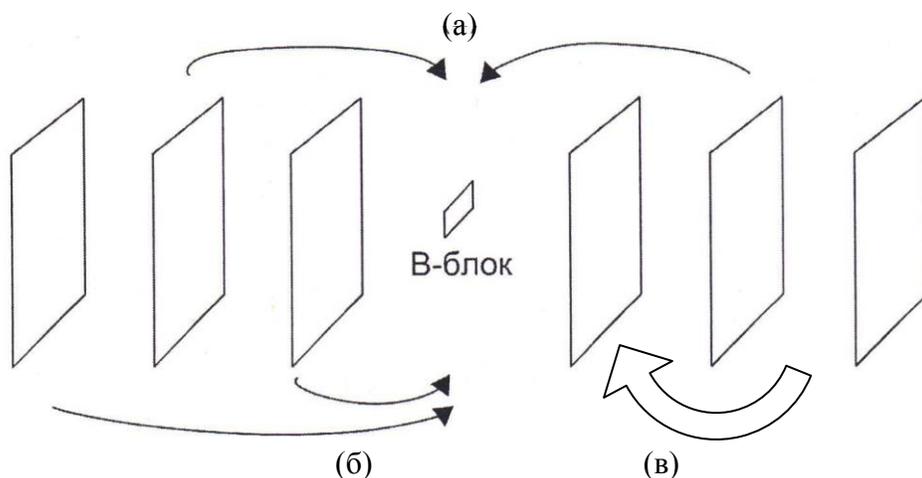


Рисунок 6 - Примеры предсказания для B- макроблоков.

(а) прошлое/будущее, (б) прошлое, (в) будущее.

B- слои используют два списка ранее закодированных кадров - список 0 и список 1, которые содержат кадры с близкими и давними строками. Оба списка могут содержать предыдущие и будущие кадры (то есть те, которые демонстрируются до или после текущего кадра). Принята следующая схема расположения кадров в этих списках:

список 0 - ближайший кадр в прошлом (в хронологическом порядке) индексируется нулем, за ним идут другие кадры в порядке увеличения их номера (в хронологическом порядке).

список 1 - ближайший будущий кадр имеет индекс 0, за ним идут другие будущие кадры, а затем - предыдущие кадры.

Избранный индекс кодируют в виде слова экспоненциального кода Голомба, поэтому самым эффективным выбором опорного индекса будет индекс 0 (то есть предыдущий кадр из списка 0 или следующей кадр из списка 1).

Предсказания макроблоков в B- слоях могут осуществляться несколькими разными способами: прямой режим предсказания, компенсация движения по кадрам из списка 0, компенсация движения по кадрам из списка 1 или двунаправленное предсказание компенсации движения одновременно по спискам 0 и 1 (рисунок 7). Для каждого блока разделения макроблока можно выбирать разные режимы предсказания (таблица 4). В случае использования блоков 8 x 8, режим, избранный для каждого блока 8 x 8, применяют и для каждого субблока этого блока.

Таблица 4 Режимы предсказания для макроблоков B- слоев

Блоки	Режимы
16 x 16	Прямой, список 0, список 1 или двунаправленный
16 x 8 или 8 x 16	Список 0, список 1 или двунаправленный (выбирают отдельно для каждого блока)
8 x 8	Прямой, список 0, список 1 или двунаправленный (выбирают отдельно для каждого блока)

При двунаправленном предсказании используют для создания опорного блока оба списка - 0 и 1. Из каждого списка берут по одной опорной области (это означает, что для предсказания будут нужны два вектора движения) и каждый ЭИ блока, предсказание рассчитывается как среднее значение соответствующих ЭИ областей предсказания из списков 0 и 1. В случае, когда взвешенное предсказание не используется, можно применить следующую формулу:

$$pred(u, j) = (pred0(u, j) + pred1(u, j)) >> 1$$

где  $pred0(i, j)$  и  $pred1(i, j)$  - это предсказанные ЭИ из списков 0 и 1 опорных кадров, а  $pred(i, j)$  - это ЭИ двунаправленного предсказания. После расчета всех ЭИ предсказания, остаточный кадр (после компенсации движения) рассчитывают вычитанием рассчитанного блока - предсказания  $pred(u, j)$  от текущего блока данного макроблока.

Векторы движения списков 0 и 1 двунаправленных предсказаний макроблоков или блоков, в свою очередь, предсказывают по окружающим векторам движения, которые имеют такое же временное направление. Например, вектор текущего макроблока, указывающий на кадр в прошлом, предсказывают по другим соседним векторам, которые также указывают на предыдущие кадры.

Прямое предсказание строят путем расчета векторов списков 0 и 1 на основе векторов, которые были закодированы раньше, далее их используют для двунаправленной компенсации движения декодированного окончательного блока. Макроблок В- слоя, который был пропущен, возобновляется декодером путем прямого предсказания. Существует два типа прямого предсказания – это пространственный и временной методы.

В пространственном методе списки 0 и 1 рассчитывают следующим образом. Если близкий макроблок или его часть в списке 1 имеет вектор движения, меньший чем  $\pm 1/2$  ЭИ яркости, то один или оба вектора предсказания обнуляют. В противном случае списки 0 и 1 предсказанных векторов используют для двунаправленной компенсации движения.

Во временном методе декодер действует по следующему алгоритму:

1. Найти опорный кадр списка 0 для близкого макроблока или его части на кадре списка 1. Эта ссылка списка 0 становится опорной первого списка для текущего макроблока или его части.

2. Найти вектор MV списка 0 для близкого макроблока или его части на кадре списка 1.

3. Перемасштабировать вектор MV с помощью "расстояния" – порядкового счетчика кадров между текущим кадром и кадром из списка 1: это будет новый вектор MV 1 списка 1.

4. Перемасштабировать вектор MV с помощью "расстояния" – порядкового счетчика кадров между текущим кадром и кадром из списка 0: это будет новый вектор MV 0 списка 0.

Эти два режима прямого предсказания имеют некоторые модификации: в случае, когда предсказанные опорные макроблоки или их части недоступны или закодированы в режиме intra.

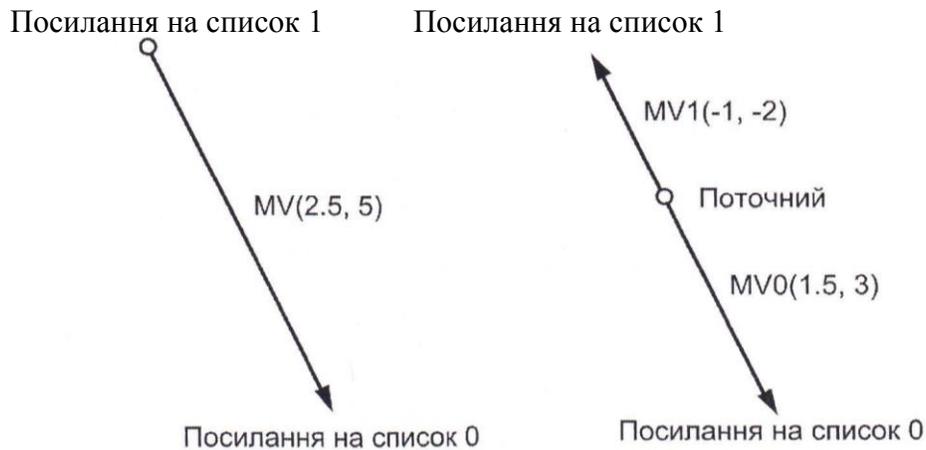


Рисунок 7 - Пример прямого вектора движения - MV из списка 1 (а), рассчитанные MV 0 и MV 1 (б).

### ВЫВОДЫ

*Осуществлен анализ кодирования видеоинформации по стандарту H.264|MPEG4/AVC, сделано предложение относительно использования стандарта H.264|MPEG-4/AVC в системах цифрового телевизионного вещания, созданных по стандарту DVB-T.*

*Выполнен обзор процесса кодирования по стандарту H.264|MPEG-4/AVC, рассмотрены основные инструменты кодирования, которые введены в этом стандарте, приведено описание профилей и уровней стандарта. Приведена оценка качества кодирования по сравнению с другими стандартами видеокодирования.*

*Стандарт H.264|MPEG-4/AVC является значительным шагом вперед по сравнению со стандартом MPEG-4 и позволяет достичь эффективность сжатия, которая значительно (до 30%) повышает эффективность MPEG-4.*

*Во второй части статьи будет представлено описание кодирования в стандарте H.264|MPEG-4/AVC для чересстрочной развертки, контекстно-адаптивное кодирование с переменной длиной (CAVLC), контекстно-адаптивное арифметическое кодирование (CABAC.)*

ЛИТЕРАТУРА

1. S.Wenger, T.Stockhamter. An overview on H.264 NAL concept. - JVT-B028, Feb 2002.
2. S.Kumar, L.Xu, G.K.Mandal, S.Panchanathan. Error Resiliency Schemes in H.264/AVC Standard. - Visual Communication & Image Representation (Special issue on Emerging H.264/ AVC Video Coding Standard), Vol. 17(2), pp. 425-450, April 2006.
3. Ричардсон Ян. Видеокодирование H.264 и MPEG-4 - стандарт нового поколения. - М: Техносфера, 2005.
4. Семенюк В.В. Современные методы и стандарты экономного кодирования видеоинформации. – Санкт-Петербург, 2002.
5. T.Wedi, B.Kashiwagi. Subjective quality evaluation H.264/AVC FRExt for HD movie content. - Joint Video Team document JVT-L033, July 2004.