УДК 621.397.132.11

АДАПТИВНОСТЬ ПРИ СЖАТИИ СПЕКТРА СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

В.Н. Безруков, заведующий кафедрой ТиЗВ МТУСИ, д.т.н.,профессор
С.Г. Романов, ассистент кафедры ТиЗВ МТУСИ; safit87@inbox.ru
М.О. Седов, научный сотрудник кафедры ТиЗВ МТУСИ

Ключевые слова: *подавление избыточности, сжатие телевизионного сигнала, искажения внутрикадровой структуры, адаптивное сжатие, спектральная интенсивность изображений, распределение блоков изображений.*

Введение. Как известно, в многомерном исходном пространстве объем видеоинформации распределяется и изменяется неравномерно: во времени (ось $0t$), в горизонтальном направлении (ось $0x$), в вертикальном направлении (ось $0y$), в диапазоне длин волн контролируемого электромагнитного излучения (ось 0λ) и в амплитудном диапазоне. Устранение избыточности в системах телевидения связано с передачей изменений пространственной (внутрикадровой) и межкадровой структуры сигналов изображений [1, 2]. При этом увеличение степени устранения избыточности влияет на точность передачи указанных изменений, что обуславливает появление искажений пространственно-временной и цветовой структуры телевизионных (ТВ) изображений в условиях фиксированной пропускной способности канала связи. Повышением эффективности передачи определяется спектральная плотность энергии сигнала, которая в цифровых системах телевидения значительно возрастает с увеличением степени предварительного устранения его избыточности. Практика цифрового ТВ-вещания показывает, что при стандартной полосе частот ТВ-радиоканала и отношении средней мощности сигнала к средней мощности шума равном 100 пропускная способность канала составляет ≈ 50·106 бит/с. Это свидетельствует о возможностях существенного увеличения эффективности использования частотного ресурса в современных системах связи в условиях разработки и внедрения качественно новых цифровых методов, обеспечивающих значительное, по отношению к настоящему времени, увеличение степени устранения избыточности ТВ-сигналов, отражающих контролируемую многомерную видеоинформацию.

Сложность и неоднозначность, а также практическая невозможность решения проблемы сжатия спектра сигналов ТВ-изображений определяется относительно большим диапазоном изменений уровня соответствующей функции, ее градиента в пределах (по направлениям) контролируемого многомерного пространства. Это значительно усложняет реализацию и увеличивает (за счёт возрастания объёма необходимых вычислений) инерционность адаптивных трансформаций режима сжатия в зависимости от текущей специфики изменений в многомерном пространстве сигнала ТВ-изображений. С другой стороны, отсутствие или сокращение вариантов указанных адаптивных трансформаций снижает эффективность функционирования современных систем сжатия многомерных видеоинформационных сигналов. Таким образом, сегодня решение проблемы адаптивного сжатия многомерного спектра сигналов изображений становится весьма актуальной и представляет значительный теоретический и практический интерес для разработчиков и производителей оборудования цифровых систем передачи видеоинформации.

Предпосылки для адаптивного сжатия спектра. Сжатие спектра с фрагментацией пространственно-временной структуры сигнала изображения последовательностями независимых блоков в реальном пространстве определяет направление раздельного сжатия спектра каждого из независимых блоков, отражающих при воспроизведении в своей совокупности текущую пространственно-временную структуру сигналов ТВ-изображений .

В стандарте JPEG последовательностями независимых блоков представлена структура изображений в пределах каждого отдельного кадра. Далее отсчёты каждого блока накапливаются и подвергаются дискретно-косинусному преобразованию (ДКП) с последующим взвешиванием полученных при этом отсчетов в пределах матрицы коэффициентов спектра. Последующая селекция таких отсчетов по абсолютному значению уровня обеспечивает регулировку степени сжатия и сохранение (с учетом энтропийного кодирования) наиболее интенсивных составляющих спектра сигналов изображений при фиксированной скорости сформированного цифрового потока. Однако увеличение степени сжатия приводит к появлению искажений в текущей структуре сигнала изображения из-за соответствующего снижения числа уровней (“огрубления”) шкалы квантования коэффициентов ДКП. С учетом того что наиболее высокочастотные коэффициенты делятся на относительно большие коэффициенты матрицы квантования, по мере увеличения степени сжатия высокочастотные составляющие спектра постепенно обнуляются, т.е. наблюдается постепенное сужение пространственной АЧХ цифровой ТВ-системы, особенно, по отношению к высокочастотным составляющим пространственной структуры изображений малой интенсивности, которые имеют низкий уровень спектра.

С другой стороны, из-за повышения шага квантования при текущем увеличении степени сжатия возрастает степень деградации (огрубления) всех частотных составляющих малой интенсивности в структуре пространственного спектра сигнала ТВ-изображений. По мере дальнейшего увеличения шага квантования полностью исчезают пространственные частотные составляющие все большей амплитуды. Такое нелинейное стробирование пространственного спектра сигнала изображения определяет искажения, возникающие в пределах каждого отдельного блока. Искажения, возникающие при межкадровом кодировании, -- следствие искажений во

внутрикадровой области. Специфической операцией межкадрового кодирования является компенсация движения на основе вычисления сигнала вектора движения, конкретизирующего новое (измененное) положение данного блока в пределах пространства текущего кадра. При межкадровом кодировании аналогичным образом возникают разнообразные специфические искажения, обусловленные неточностью предсказания положения блоков подвижного (в пределах поля зрения датчика ТВ- сигнала) объекта и подавлением при квантовании спектральных компонент сигнала возникающей при этом ошибки малой интенсивности.

Задача снижения уровня искажений, что, собственно, коррелированно с увеличением степени сжатия, решается в современной версии стандарта MPEG (H.264/AVC (MPEG-4 Part-10 AVC) или (другое название этого же стандарта 14496-10 или MPEG-4, ч. 10)) за счет существенного увеличения адаптивности алгоритмов, реализующих внутрикадровое и межкадровое сжатие спектра сигналов изображений. Общее возрастание степени сжатия при этом достигает 50% по отношению к предыдущей версии стандарта (MPEG-2). Можно, в частности, отметить следующие изменения по отношению к MPEG-2 алгоритмов сжатия в H.264/AVC в сторону возрастания их адаптивности к текущей структуре изображений:

- компенсация движения с переменными размерами блока от 16×16 до 4×4
- конкретизация вектора движения с учётом перемещения границ в области движения;
- предсказание движения с использованием нескольких опорных кадров;
- учёт при кодировании общих относительных перемещений с их общей компенсацией при декодировании и с предсказанием оставшихся локальных движений по сигналам соответствующих относительных векторов движений;
- вариации формой и размерами блоков;
- направленное внутрикадровое пространственное предсказание текущих блоков;
- статистическое кодирование коэффициентов спектра, адаптивное к структуре спектра сигнала изображений;
- вариации размером слайса с учётом сохранения пространственно-временной корреляции в данном фрагменте сигнала изображений;
- передача резервных данных представления областей изображений, обеспечивающая их приближённую реставрацию при декодировании.

Благодаря введённым элементам адаптивности (перечислены выше) стандарт H.264/AVC обеспечивает меньшую заметность искажений изображения при относительно малых скоростях передачи соответствующего цифрового потока в каналах связи.

Однако использованные элементы адаптивности не исчерпывают возможности дальнейшего увеличения эффективности сжатия спектра ТВ-сигналов. Эффективность сжатия, собственно, определяется также и возможностями минимизации заметности сопутствующих искажений при декодировании.

Основные принципы и научное обоснование предлагаемого метода. Исходя из результатов разработки принципов и соотношений для анализа многомерной дискретизации видеоинформационных сигналов, представленных в работах [4—7], рассмотрим специфику искажений внутрикадровой структуры ТВ-изображений, обусловленную подавлением высокочастотных составляющих пространственного спектра при его квантовании в процессе сжатия. С этой целью определим в области пространственных частот (ω_x,ω_y) идеализированные спектры составляющих сигнала изображения в виде последовательностей дельта-функций:

$$S_{11}(\omega_x,\omega_y)=\left(\sum_{\alpha=-n}^{n}\delta(\omega_x-\alpha\omega_{x1})\right)\left(\sum_{\beta=-m}^{m}\delta(\omega_y-\beta\omega_{y1})\right); \quad (1)$$

$$S_{21}(\omega_x,\omega_y)=\left(\sum_{\alpha=-(n-1)}^{(n-1)}\delta(\omega_x-\alpha\omega_{x1})\right)\left(\sum_{\beta=-(m-1)}^{(m-1)}\delta(\omega_y-\beta\omega_{y1})\right);$$

$$S_{31}(\omega_x,\omega_y)=\left(\sum_{\alpha=-(n-3)}^{(n-3)}\delta(\omega_x-\alpha\omega_{x1})\right)\left(\sum_{\beta=-(m-3)}^{(m-3)}\delta(\omega_y-\beta\omega_{y1})\right);$$

$$S_{(n,m-(n,m-1))}(\omega_x,\omega_y)=$$

$$=\left(\sum_{\alpha=-(n-(n-1))}^{n-(n-1)}\delta(\omega_x-\alpha\omega_{x1})\right)\left(\sum_{\beta=-(m-(m-1))}^{m-(m-1)}\delta(\omega_y-\beta\omega_{y1})\right);$$

$$S_{(n,m-(n,m))}(\omega_x,\omega_y)=\delta(\omega_x)\delta(\omega_y).$$

С применением обратного преобразования Фурье найдём реальные функции, соответствующие спектрам $S_{(n,m-i)}(\omega_x,\omega_y)$, представленным выражениями (1). При этом первоначально получим реальную функцию, отражающую в реальном пространстве первую составляющую общего спектра:

$$D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})=\frac{1}{4\pi^2}\sum_{\alpha=-n}^{n}\sum_{\beta=-m}^{m}\exp(jx\alpha\,\omega_{x1}+jx\beta\,\omega_{y1}). \quad (2)$$

Полученное соотношение (2) для функции $D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})$ позволяет осуществить следующее преобразование:

$$D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})=$$

$$=\frac{1}{4\pi^2}\left(1+\sum_{\alpha=1}^{2n}2\cos x\alpha\,\omega_{x1}\right)\left(1+\sum_{\beta=1}^{2m}2\cos y\beta\,\omega_{y1}\right). \quad (3)$$

Как известно [4, 5, 7], математически выполняется равенство:

$$\sum_{\xi=0}^{p}2\cos\xi z-1=1+2\cos z+2\cos 2z+2\cos 3z+\ldots$$

$$\ldots+2\cos(p-1)z+2\cos pz=\frac{\sin\frac{2p+1}{2}z}{\sin\frac{z}{2}}.$$

В соответствии с последним равенством представим соотношение (3) для $D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})$ в виде:

$$D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})=D_1(x)D_1(y)=$$

$$=\frac{1}{4\pi^2}\,\frac{\sin\frac{2n+1}{2}\omega_{x1}x}{\sin\frac{\omega_{x1}x}{2}}\,\frac{\sin\frac{2m+1}{2}\omega_{y1}y}{\sin\frac{\omega_{y1}y}{2}}. \quad (4)$$

По аналогии с функцией $D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})$, полученной для первой составляющей спектра, конкретизируем функции, отражающие в реальной области вторую i-тую и другие составляющие:

$$D_{21}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})=D_2(x)D_2(y)=$$

$$=\frac{1}{4\pi^2}\,\frac{\sin\frac{2(n-1)+1}{2}\omega_{x1}x}{\sin\frac{\omega_{x1}x}{2}}\,\frac{\sin\frac{2(m-1)+1}{2}\omega_{y1}y}{\sin\frac{\omega_{y1}y}{2}}; \quad (5)$$

$$D_{i1}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})=D_i(x)D_i(y)=$$

$$=\frac{1}{4\pi^2}\,\frac{\sin\frac{2(n-i)+1}{2}\omega_{x1}x}{\sin\frac{\omega_{x1}x}{2}}\,\frac{\sin\frac{2(m-i)+1}{2}\omega_{y1}y}{\sin\frac{\omega_{y1}y}{2}};$$

$$D_{(n,m-1)1}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) = D_3(x)D_3(y) =$$

$$= \frac{1}{4\pi^2} \frac{\sin\frac{2(n-(n-1))+1}{2}\omega_{x1}x}{\sin\frac{\omega_{x1}x}{2}} \frac{\sin\frac{2(m-(m-1)+1}{2}\omega_{y1}y}{\sin\frac{\omega_{y1}y}{2}};$$

$$D_{(n,m)1}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) = D_3(x)D_3(y) =$$

$$= \frac{1}{4\pi^2} \frac{\sin\frac{2(n-n))+1}{2}\omega_{x1}x}{\sin\frac{\omega_{x1}x}{2}} \cdot \frac{\sin\frac{2(m-m)+1}{2}\omega_{y1}y}{\sin\frac{\omega_{y1}y}{2}}. \quad (5)$$

Специфику искажений сигналов изображений, возникающих при передаче вертикальных и горизонтальных границ в пределах внутрикадрового пространства в системах с применением стандартов сжатия спектра на основе ДКП (JPEG, MPEG), целесообразно выявлять при использовании (в пределах кодируемых блоков) испытательных сигналов изображений, отличающихся ступенчато нарастающим (спадающим) по уровню спектром. Постепенное, пороговое, устранение спектральных составляющих отдельных ступеней данного спектра, моделирующее результат квантования коэффициентов спектра, сопровождается сопутствующими искажениями пространственной структуры такого сигнала изображения.

В частотном пространстве ступенчато нарастающий спектр изображения в пределах блока коэффициентов определим в виде суммы составляющих, представленных в (1):

$$S_0(\omega_x,\omega_y) = \eta_1 S_{11}(\omega_x,\omega_y) + \eta_2 S_{21}(\omega_x,\omega_y) + \ldots + \eta_i S_{0i}(\omega_x,\omega_y) + \ldots$$
$$\ldots + \eta_{n,m-1} S_{(n,m-(n,m-1))}(\omega_x,\omega_y) + \eta_{n,m} S_{(n,m-(n,m))}(\omega_x,\omega_y). \quad (6)$$

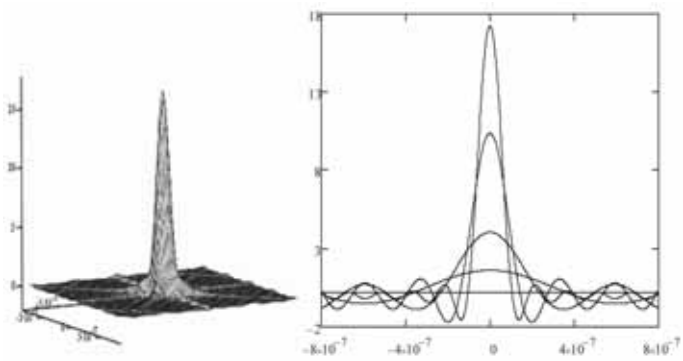
При этом коэффициенты η_i определяют относительный уровень данной составляющей. Составляющая имеет $(2n+1)\times(2m+1)$ отсчетов, составляющая $S_{21}(\omega_x,\omega_y)$ определяется таким же соотношением для случая, когда число отсчетов в горизонтальном и вертикальном сечениях данной прямоугольной функции спектра симметрично(справа и слева, сверху и снизу) снижается на фиксированное число v (v=1) по отношению $S_{11}(\omega_x,\omega_y)$. Аналогичным образом изменяется число отсчетов составляющей $S_{31}(\omega_x,\omega_y)$ по отношению к $S_{21}(\omega_x,\omega_y)$ и т.д. Соответственно при симметричном снижении числа отсчетов спектра на единицу получаем выражения для всех составляющих в соотношении (1).

Будем, в частности, считать, что матрица $S_{11}(\omega_x,\omega_y)$ имеет размерность $n\times m = 15\times 15$, $S_{21}(\omega_x,\omega_y)$ — 13×13, $S_{31}(\omega_x,\omega_y)$ — 11×11, $S_{41}(\omega_x,\omega_y)$ — 9×9, $S_{51}(\omega_x,\omega_y)$ — 7×7, $S_{61}(\omega_x,\omega_y)$ — 5×5, $S_{71}(\omega_x,\omega_y)$ — 3×3, $S_{81}(\omega_x,\omega_y)$ — 1×1 дискретных отсчетов.

Соответствующим образом определяются соотношения (4), (5) для составляющих, отражающих в реальном пространстве каждую из функций дискретного спектра. При этом исходная форма реального видеоинформационного сигнала, заданного в области пространственных частот суммой (6) ступенчатых составляющих спектра $S_0(\omega_x,\omega_y)$, соответствует вкладу каждой отдельной из таких составляющих в общий реальный сигнал.

$$D_0(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) = \eta_{11}D_{11}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{12}D_{12}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) +$$
$$+\eta_{13}D_{13}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{14}D_{14}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{15}D_{15}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \quad (7)$$
$$+\eta_{16}D_{16}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{17}D_{17}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{18}D_{18}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}).$$

Для варианта $\eta_{11} = \eta_{12} = \eta_{13} = \ldots = \eta_{17} = \eta_{18} = 1$ моделирование воздействия “огрубления” шкалы квантования при



а) *б)*

Рис. 1. **Сигнал изображения, заданный ступенчатым пространственным спектром:**

а) сигнал, соответствующий исходному спектру; ***б)*** графики сечений сигналов: 1 — исходное число; 2 — четыре; 3 — три; 4 — две; 5 — одна из ступеней исходного спектра сигнала изображения

увеличении степени сжатия на передачу пространственной структуры сигнала изображения будем определять как последовательное обнуление в двумерном, ступенчатого вида, спектре и соответствующем реальном сигнале ступеней и составляющих, отражающих высокие пространственные частоты. Если, в частности, устранить из суммы составляющих спектра три наиболее высокочастотные ступени, для реального сигнала получим

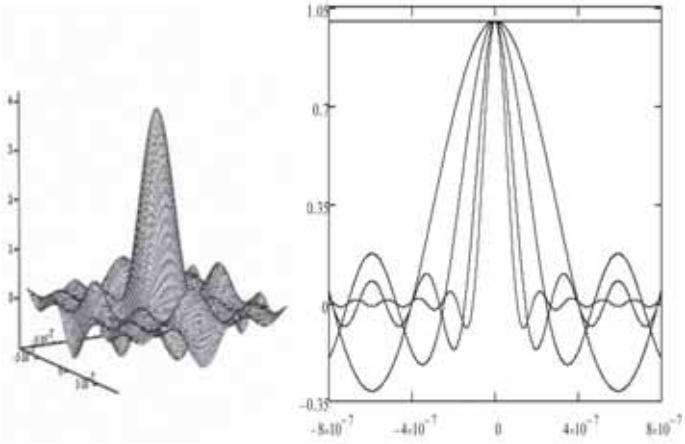
$$D_1(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) = 4D_{14}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + D_{15}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) +$$
$$+D_{16}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{17}D_{17}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}) + \eta_{18}D_{18}(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1}). \quad (8)$$

По аналогии могут быть вычислены соотношения, отражающие форму реального сигнала для вариантов устранения, например, пяти, шести и семи ступеней спектра.

На рис. 1,*а* представлен результат вычисления (с использованием полученных соотношений (4)—(8) сигнала изображения $D_0(x,y,\omega_{x1},\omega_{y1})$, заданного в области пространственных частот суммой всех восьми ступенчатых составляющих исходного спектра, т.е. для случая отсутствия обнуления его отдельных ступеней. На рис. 1,*б* графиком 1 показано сечение $D_0(x,0)$ данного сигнала при выборе $\omega_{x1} = \omega_{y1} \cong 0{,}06\ 2\pi\ 13{,}5\cdot 10^{-6}$. Графиками 2—5 рис. 1,*б* показаны расчётные изменения максимальных формы и уровня сечений соответственно в случаях обнуления трёх, пяти, шести и семи ступеней исходного спектра сигнала изображения. Полученные результаты свидетельствуют о существенном падении уровня, увеличении протяжённости главного лепестка (вплоть до фиксированного уровня) и возникновении выбросов в случае последовательного обнуления трёх, пяти, шести и семи ступеней высокочастотных составляющих исходного ступенчатого вида, пространственного спектра сигнала изображения.

На рис. 2 представлены вид импульсной характеристики сигнала при обнулении трёх высокочастотных ступеней пространственного спектра и нормированные импульсные характеристики, отражающие рассмотренные варианты (рис. 1) воздействия квантования на ступенчато нарастающий по уровню пространственный спектр сигнала изображения.

Согласно результатам вычислений, показанным на рис. 2, с возрастанием числа подавленных при сжатии высокочастотных составляющих пространственного спектра в пределах блоков значительно, практически линейно, возрас-



а) *б)*

Рис. 2. **Сигнал изображения, заданный ступенчатым пространственным спектром:**

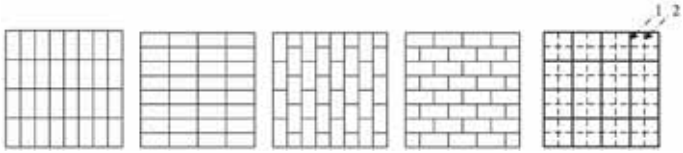
а) сигнал, соответствующий четырём ступеням; ***б)*** нормированные графики сечений сигналов: 1 — исходное число; 2 — четыре; 3 — три; 4 — две; 5 — одна из ступеней исходного спектра сигнала изображения

тает относительная амплитуда и протяжённость сопутствующих выбросов в структуре, соответствующей импульсной характеристике. Возрастает в её структуре и протяжённость главного лепестка. Последнее непосредственно влияет на внутрикадровые искажения тонких, например, вертикальных и горизонтальных малоконтрастных линий в системах со сжатием спектра, а также на интегральные искажения (снижение крутизны) фронта и специфику оконтуриваний при передаче малоконтрастных границ аналогичной ориентации. Это связано с тем, что текущие изменения параметров импульсной характеристики практически полностью определяют (действие свёртки) передачу границ и других малоконтрастных составляющих внутрикадровой структуры ТВ изображений.

Известно, что анизотропия усреднённой спектральной интенсивности реальных изображений имеет ромбовидную конфигурацию области граничных частот двумерного пространственного спектра [3]. При этом максимальная протяжённость указанного пространственного спектра ориентирована в горизонтальном и вертикальном направлениях внутрикадрового пространства. Интегральные искажения таких составляющих сигнала изображений, возникающие при сжатии, соответственно существенно влияют на субъективное качество при их восприятии. При этом важное значение, как показали исследования, проведённые на кафедре телевидения МТУСИ им. С.И. Катаева, имеет положение, например, вертикально и горизонтально ориентированных составляющих внутрикадровой структуры по отношению к использованной последовательности блоков. Учёт этого фактора может обеспечить заметное увеличение эффективности адаптивного сжатия спектра в системах цифрового ТВ-вещания.

Может быть предложен следующий **алгоритм для реализации варианта подобного сжатия**:

- раздельное одномерное дифференцирование внутрикадровой структуры сигнала изображений, например в горизонтальном, вертикальном и двух диагональных направлениях внутрикадрового пространства;
- интегрирование полученных составляющих в ортогональном, по отношению к направлению дифференцирования, направлении;



а) *б)* *в)* *г)* *д)*

Рис. 3. **Варианты адаптивного изменения положения независимых блоков в пределах внутрикадрового пространства**

- детектирование и ограничение по минимальному уровню составляющих сигнала, полученных после последовательного дифференцирования и интегрирования;
- конкретизирование с использованием разделённых сигналов детектированных составляющих координаты областей в пределах внутрикадрового пространства, обогащённых составляющими, имеющими наибольший уровень сигналов в одном из направлений и минимальный – в ортогональном направлении;
- разделение структуры сигнала изображения в каждой из таких областей на независимые последовательности блоков при соответствующем положении смежных блоков;
- осуществление ДКП структуры пикселей в блоках и адаптивного квантования коэффициентов спектра;
- обратное преобразование и оценивание качества передачи структуры изображения в пределах блоков данной области;
- с использованием блоков, имеющих высокий уровень структурного подобия, предсказание блоков, имеющих низкий уровень структурного подобия, вычисление ошибки предсказания, которую подвергают сжатию;
- передача на приёмную сторону блоков высокого качества и сигнала ошибки предсказания блоков низкого качества.

На рис. 3 показаны предложенные варианты адаптивного положения блоков в локальных областях внутрикадрового пространства. При этом вариант распределения рис. 3,*а* предназначен для передачи наклонных составляющих пространственной структуры изображений с наклоном в пределах $-45^\circ \le \varphi \le 45^\circ$; вариант рис. 3, *б* — $45^\circ \le \varphi < 135$; вариант рис. 3, *в, г* – соответственно горизонтально и вертикально ориентированные составляющие пространственной структуры изображений; рис. 3, *д* – мелкоструктурные и другие составляющие сигналов изображений (исходное положение блоков *1* – сплошная линия, измененное положение *2* – пунктирная линия).

Заключение. Таким образом, из-за повышения шага квантования при текущем увеличении степени сжатия возрастает степень деградации (огрубления) всех частотных составляющих малой интенсивности в структуре пространственного спектра сигнала ТВ-изображений. По мере дальнейшего увеличения шага квантования полностью исчезают пространственные частотные составляющие все большей амплитуды. Такое нелинейное стробирование спектра определяет искажения, возникающие в пределах каждого отдельного блока. Максимальная протяжённость пространственного спектра сигнала ТВ-изображений ориентирована в горизонтальном и вертикальном направлениях внутрикадрового пространства. Интегральные искажения таких составляющих изображений, возникающие при сжатии, соответственно, существенно влияют на субъективное качество при их восприятии. Важное значение имеет положение внутрикадровой структуры ТВ-изображений по отношению к использованной в процессе сжатия последовательности блоков.

Учет этого фактора может обеспечить заметное увеличение эффективности адаптивного сжатия спектра в современных системах цифрового ТВ вещания.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 748903 СССР Способ передачи и воспроизведения сигнала изображения/ Безруков В.Н. – Заявл. 1976. – Опубл.1980, Бюлл. №26.
2. А.с.1211892 СССР Способ формирования телевизионного сигнала цветного изображения и устройство для реализации/Безруков В.Н. – Заявл. 1983. – Опубл.1986, Бюлл. №6.
3. **Красильников Н.Н.** Теория передачи и восприятия изображений. – М.: Радио и связь,1986. – 248 с.
4. **Безруков В.Н.** Анализ характеристик спектра ортогональных структур квазипериодической дискретизации в системах телевидения //Радиотехника. – 1989. – № 12. – С. 3 – 7.
5. **Безруков В.Н.** Принципы построения и анализа характеристик спектра структур дискретизации телевизионных изображений //Техника кино и телевидения. – 1990 . – №7. – С. 7–23.
6. **Безруков В.Н.** Разработка и применение элементов теории преобразования сигналов изображений в системах прикладного телевидения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н., М.: МТУСИ, 1996. С. 18–21.
7. **Безруков В.Н., Медведев А.А., Седов М.О.** Анализ характеристик спектра структур внутрикадровой дискретизации сигналов ТВ-изображений // T•Comm. Коммуникации и транспорт. – 2009. – № 5. – С. 14—17.
8. **Седов М.О.** Адаптивное дискретное вейвлет-преобразование // T•Comm. Коммуникации и транспорт. – 2012. – № 9. – С. 127—130.

Получено 5.12.12