

С.К. КОЧАРЯН

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЖАТИЯ ПО  
СТАНДАРТУ MPEG-2**

Представлена модель процессов сжатия по стандарту MPEG-2. Дано описание моделей предварительной обработки сигнала, межкадрового сжатия и внутрикадрового сжатия.

**Ключевые слова:** моделирование, сжатие видеoinформации, MPEG-2.

За последние несколько лет широкое распространение получило цифровое телевидение, возникли несколько стандартов цифрового ТВ: DVB (Digital Video Broadcasting), ATSC (Advanced Television System Committee) [1]. Всех их объединяет то, что в качестве способа сжатия видеосигнала используется стандарт MPEG-2. Наряду с очевидными преимуществами цифрового представления видеосигнала в сравнении с аналоговым (помехозащищенность, высокое качество, более широкие возможности обработки и т.д.), возникли новые задачи, одной из которых является оценка качества сжатия видеосигнала. С целью изучения искажений, возникающих при сжатии видеoinформации, и разработки тестовых изображений возникла необходимость создания модели процессов сжатия, используемых в стандарте MPEG-2. В разработанной модели процесс обработки видеосигнала разделен на три шага:

1. **Обработка сигнала**
  - а) низкочастотная фильтрация и “размытие” сигнала;
  - б) переход из цветового пространства RGB в YCrCb и обратно;
  - в) преобразование формата цветности 4:4:4 в формат 4:2:2 или 4:2:0 и восстановление первичной частоты дискретизации цветоразностных сигналов.
2. **Межкадровое сжатие**
  - а) расчет вектора движения для каждого макроблока;
  - б) расчет разностных кадров.
3. **Внутрикадровое сжатие**
  - а) дискретно-косинусоидальное преобразование (ДКП);
  - б) квантование и восстановление ДКП коэффициентов;
  - в) Z упорядочивание и кодирование по алгоритму Хаффмана [2].

Искажения видеосигнала, обусловленные сжатием, возникают из-за межкадрового и внутрикадрового сжатий. Отметим, что в некоторых случаях искажения одного вида могут усилить или даже сгенерировать искажения другого вида, ввиду чего необходимо рассмотреть процессы сжатия как отдельно, так и в совокупности. На рис. 1 приведена схема модели с параллельным и последовательным прохождением сигнала.

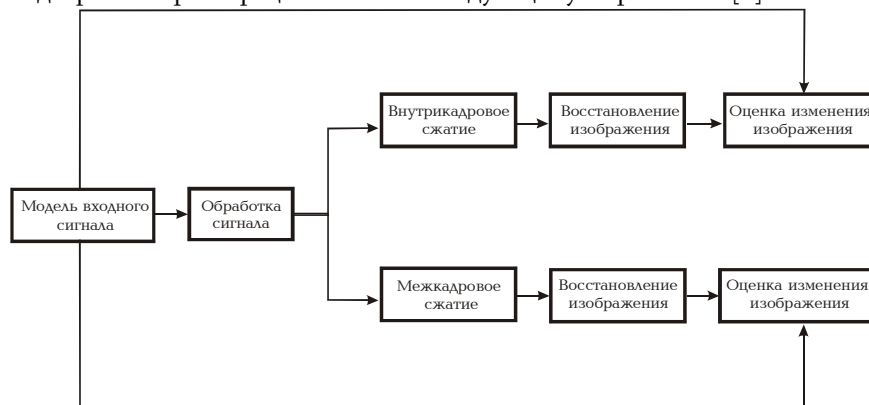
Для полной оценки адекватности модели и реальных программ были реализованы также Z упорядочивание и кодирование по алгоритму Хаффмана, а также разработана модель входного сигнала.

Ниже приведено более детальное описание модели.

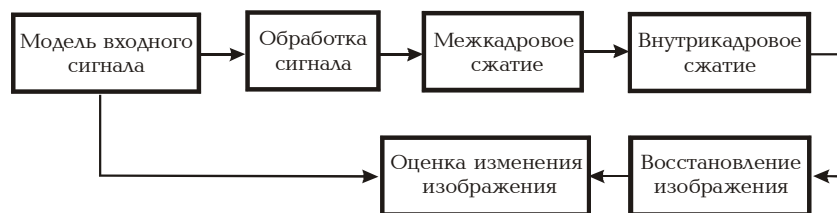
**Обработка сигнала**

*а) Низкочастотная фильтрация и “размытие” сигнала*

Для НЧ фильтрации входной сигнал подвергается преобразованию Фурье и подвергается фильтрации согласно следующему выражению [3]:



а)



б)

Рис.1. Схема модели процессов сжатия видеосигнала по стандарту MPEG-2:

а – параллельное прохождение сигнала; б – последовательное прохождение сигнала

$$G(u,v)=H(u,v)F(u,v), \tag{1}$$

где  $F(u,v)$  - коэффициенты преобразования Фурье для изображения;  $H(u,v)$  - коэффициент передачи фильтра;  $G(u,v)$  - выходной сигнал.

В модели использованы два значения функции  $H(u,v)$ :

$$H(u,v) = \left\{ \begin{array}{l} 1 \dots \dots \dots \text{if } \dots D(u,v) \leq D_0 \\ 0 \dots \dots \dots \text{if } \dots D(u,v) > D_0 \end{array} \right\}, \tag{2}$$

$$H(u,v) = e^{-[D(u,v) / D_0]^n}, \tag{3}$$

где  $D_0$  - частота среза, а  $D(u,v)$  определяется выражением

$$D(u,v)=\{u^2+v^2\}^{1/2}. \tag{4}$$

Выражение (2) описывает коэффициент передачи для идеального фильтра, а (3) - для фильтра с гауссовым или экспоненциальным коэффициентом передачи.

Изображение подвергается “размытию” по следующему выражению:

$$g(x, y) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \dots \text{if } \left| f(x, y) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \right| > T \\ f(x, y) \dots \text{otherwise} \end{array} \right\}, \quad (5)$$

где  $g(x,y)$  - выходное значение пиксела;  $f(m,n)$  - начальное значение пиксела;  $S$  - диапазон координат соседних пикселей (без  $f(x,y)$ );  $M$  - количество пикселей в диапазоне  $S$ ;  $T$  - положительное числовое значение.

б) *Переход из цветового пространства RGB в YCrCb и обратно.*

В системах цифрового телевидения при восьмибитном кодировании сигнала значения 0 и 255 используются для передачи сигналов синхронизаций [2]. Принимая во внимание, что в компьютерной графике не требуется использовать сигналы синхронизации, матрицы преобразования RGB в YCrCb и обратно YcrCrb в RGB [2,4] приведены к виду

$$\begin{pmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0,2568 & 0,504 & 0,0979 \\ -0,1482 & -0,291 & 0,4392 \\ 0,4392 & -0,678 & -0,0714 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,164382 & 0 & 1,596043 \\ 1,164382 & -0,391747 & -0,8129687 \\ 1,164382 & 2,0172304 & 0 \end{pmatrix} \times \left( \begin{pmatrix} Y \\ C_B \\ C_R \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{pmatrix} \right). \quad (7)$$

в) *Преобразование формата цветности 4:4:4 в формат 4:2:2 или 4:2:0 и восстановление первичной частоты дискретизации цветоразностных сигналов*

Уменьшение частоты дискретизации цветоразностных сигналов - достаточно простая задача, решаемая простым исключением соответствующих отсчетов. Главной целью было восстановление дискретизации (интерполяция). В данной модели использованы два метода повышения частоты дискретизации.

Первый метод довольно простой и реализуется простым повторением значений существующих отсчетов (рис. 2).

$$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 4 & 5 & 6 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 5 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 2 & 2 \\ 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 6 \\ 4 & 4 & 5 & 5 & 6 & 6 \end{bmatrix}$$

Рис. 2

Второй метод основан на использовании импульсной характеристики цифрового фильтра [5], при прохождении которого длительность воздействия единичного импульса занимает некоторый промежуток времени, а не обусловлена только моментом появления импульса (рис. 3). Используя это свойство и учитывая

значения нескольких соседних пикселей, рассчитываются отсутствующие пиксели. Нужно отметить, что второй метод обеспечивает более правильное восстановление отсутствующих отсчетов (рис. 4).

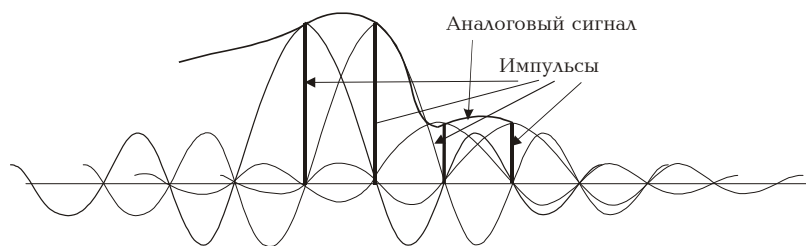
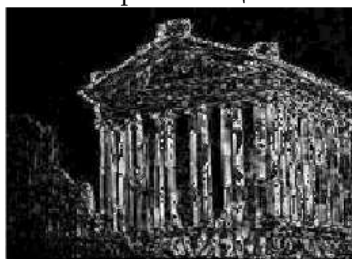


Рис. 3

### Межкадровое сжатие

#### а) Расчет вектора движения для каждого макроблока

В модели реализован трехшаговый метод поиска вектора движения, который довольно распространен в кодерах. При этом методе первоначально поиск производится для вектора с шагом в 4 пиксела, затем в 2 пиксела и в конце в 1 пиксел. Расчет векторов движения производится отдельно для сигналов яркости и цветности, что обеспечивает правильную передачу цветов, если корреляция между кадрами по сигналам яркости и цветности различна;



а)



б)

Рис. 4. Ошибки при преобразовании формата 4:2:2 в формат 4:4:4:  
а - с помощью первого метода, НСКО=5%; б - с помощью второго метода, НСКО=2%

б) *Расчет разностных кадров*

Расчет разностных кадров производится по следующему выражению:

$$\Delta F(x, y) = |F(x_0 + x, y_0 + y, t_0 + t) - F(x_0, y_0, t_0)|, \quad (8)$$

где  $\Delta F(x, y)$  - значение пиксела в разностном кадре;  $F(x_0 + x, y_0 + y, t_0 + t)$  - значение пиксела в рассчитанном кадре;  $F(x_0, y_0, t_0)$  - значение пиксела в опорном кадре.

**Внутрикадровое сжатие**

а) *Дискретно-косинусное преобразование*

При обработке изображений используется двумерное дискретно-косинусное преобразование [3]:

$$F(u, v) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} Y(x, y) C(x, u) C(y, v), \quad (9)$$

где  $C(x, u) = A(u) * \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2n}\right), \quad A(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, u = 0 \\ 1, u \neq 0 \end{cases},$

$$C(y, v) = A(v) * \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2n}\right), \quad A(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, v = 0 \\ 1, v \neq 0 \end{cases}.$$

б) *Квантование и восстановление ДКП коэффициентов*

Квантование ДКП коэффициентов происходит по следующему выражению [3]:

$$A' = \text{int}\left(\frac{8A}{mQ}\right), \quad (10)$$

где Q - коэффициент сжатия, а m - вес каждого коэффициента, который определяется его местоположением в матрице согласно стандарту MPEG-2.

В данном случае использовано несколько таблиц квантования [2,4]. Соответственно восстановление коэффициентов ДКП происходит, исходя из выражения (10):

$$A = \text{int}\left(\frac{A' m Q}{8}\right). \quad (11)$$

На основе вышеприведенных выражений, а также ввиду реализации алгоритма Хаффмана разработан пакет программ на языке Delphi (рис. 5), позволяющий шаг за шагом пройти весь процесс сжатия изображения, наглядно увидеть влияние того или иного параметра (коэффициент сжатия, значение обнуления, коэффициент передачи НЧ фильтра, формат дискретизации и т. д.) на качество сжатия. При помощи разработанной модели были получены зависимости нормированной среднеквадратичной ошибки (НСКО) и отношения сигнал/шум от ряда параметров.

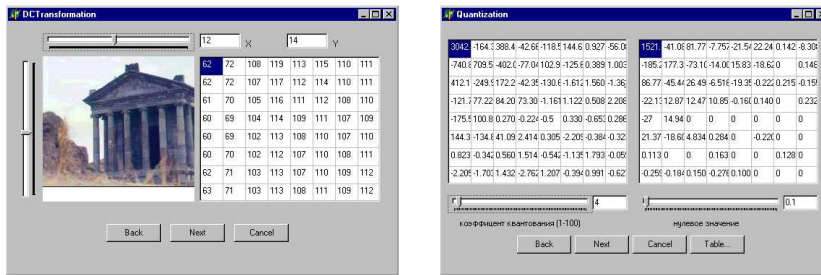


Рис. 5

**СПИСО  
К  
ЛИТЕРА  
ТУРЫ**

1. **Гласман К. Циф**

2. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений / Под ред. **Ю.Б. Зубарева и В.П. Дворковича**. –М.: DVP, 1997 – 255 с.
3. **Gonzalez, C. Rafael , Paul Wintz**. Digital image processing. 1977 Reading Mass.
4. **ISO /IEC JTC1/SC29/WG11 N3536. Overview of the MPEG 4 standart Beijing July 2000.**
5. Childer Donald, Durling Allen. Digital filtering and signal processing. USA: 1975.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 25.12.2002.

**Մ.Կ. ՔՈՉԱՐՅԱՆ  
ՍԵՂՄՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՑՆԵՐԻ ՍՈՂԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ  
ՀԱՄԱՁԱՅՆ MPEG-2 ՍՏԱՆԴԱՐԻ**

Աշխատանքում ներկայացված է MPEG-2 տեսաինֆորմացիայի սեղմման ստանդարտում կիրառվող սեղմման ալգորիթմերի մոդելների մշակումը: Տրված է տեսաազդանշանի նախնական մշակման, միջկադրային և ներկադրային սեղմումների փուլերի մոդելների նկարագրությունը :

**S. K. KOCHARYAN  
COMPRESSION PROCESS MODELLING MADE TO STANDART MPEG-2**

A compression process model made to standard MPEG-2 is presented. A signal pretreatment, intraframe compression and iterframe compression model descriptions are given.