

МОДЕЛЬ МЕТОДА СЖАТИЯ КАДРА ТЕЛЕВИЗИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

д.т.н., проф. А.В. Королёв, О.А. Козелков, О.А. Ильина

Рассмотрено внутрикадровое кодирование видеоинформации длинами серий, разработана математическая модель метода.

Введение. В настоящее время объем хранимых и передаваемых видеоданных постоянно возрастает, запись видеок кадров в цифровом виде требует значительных ресурсов памяти. Так, например, для записи без сжатия 1 секунды цифрового цветного телевизионного сигнала необходимо 20 – 30 Мбайт, а обычный компакт-диск (оптический) емкостью 600 Мбайт вмещает менее 30 секунд телевизионной видеоинформации без предварительной обработки.

В стандартах цифрового телевидения [1] применяются методы компактного представления видеоданных, которые основаны на ортогональном преобразовании кадра изображения и последующем кодировании трансформант. Степень сжатия указанных методов достигает 10 – 15 раз [2, 3]. Однако, недостатком используемых методов является частичная потеря кодируемой информации, что приводит к ухудшению качества восстановленного изображения. Данный факт не допускает использования общепринятых методов сжатия видеоинформации при решении задач, где недопустима потеря информации, например, задачи дистанционного зондирования Земли.

Разработанный метод внутрикадрового кодирования телевизионного цифрового цветного видеоизображения длинами серий позволяет обеспечить сжатие видеоизображения без потери качества восстановленного сигнала [4].

Целью статьи является разработка математической модели метода сжатия телевизионного цифрового видеоизображения длинами серий.

Разработка математической модели внутрикадрового метода сжатия телевизионного кадра длинами серий. Задача компактного представления телевизионного кадра изображения формулируется следующим образом: на основании априорных сведений о характеристиках изображения, заданной информационной емкости кадра I_k и времени

формирования T_{ϕ} , найти наиболее эффективное представление кадра изображения, минимизирующее объем видеоданных W_k , позволяющее восстановить исходное изображение с достоверностью D_k , или

$$W_k \rightarrow \min, \quad \text{при } I_k = \text{const}, T_{\phi} \leq T_{\text{зад}}, D_k \geq D_{\text{зад}}. \quad (1)$$

Из анализа характеристик телевизионных изображений следует, что видеоданные наряду с большой информационной емкостью обладают и большой информационной избыточностью. Все методы сжатия информации основаны на устранении избыточности данных [5]. Различают структурную, статистическую и физиологическую избыточность. Структурная избыточность определяется законом разложения телевизионного сигнала и устраняется, главным образом, гасящими интервалами. Статистическая избыточность вызвана корреляционными связями между элементами сигнала одной строки, соседних строк и соседних кадров. Физиологическая избыточность находится в той части информации, которая не воспринимается глазом человека [3]. Предложенный метод внутрикадрового сжатия телевизионного кадра изображения направлен на устранение как статистической, так и структурной избыточности [4].

Рассмотрим подробнее элементы кадра одного видеосюжета. Объем видеоданных одного кадра видеоизображения, без учета синхросигналов кадра, рассчитывается по формуле [5]:

$$W_k = n \times m \times \log_2 B, \quad (2)$$

где n – количество элементов в строке изображения; m – количество строк в кадре; $\log_2 B$ – число разрядов, необходимых для представления одного элемента изображения.

В результате применения подхода, изложенного в [4], количество передаваемых элементов в строке определяется по формуле

$$n' = \sum_{i=1}^S (\log_2 H + r) A_i + 2 \log_2 b, \quad (3)$$

где n' – количество элементов в строке кадра изображения при кодировании длинами серий; S – количество групп элементов в строке; r – разряд наличия кода повторений; $\log_2 H$ – число разрядов, используемых для представления одной группы; $\log_2 m_1$ – число разрядов, необходимых для представления кода повторений коррелируемых групп элементов кадра (длин серий в строке); $\log_2 b$ – число разрядов, необходимых для представления синхросигнала строки; A_i – условие поразрядного совпадения соседних групп.

Одна группа элементов L_i описывает два пикселя [4] и определяется выражением

$$L_i = \left\{ \log_2 \xi_{Y_{2i-1}}; \log_2 \xi_{C_{r_i}}; \log_2 \xi_{Y_{2i}}; \log_2 \xi_{C_{b_i}} \right\}, \quad (4)$$

где $\log_2 \xi_Y$ – число разрядов, необходимых для передачи цифрового сигнала яркости Y ; $\log_2 \xi_{C_r}$ – число разрядов, необходимых для передачи цифрового цветоразностного сигнала красного цвета C_r ; $\log_2 \xi_{C_b}$ – число разрядов, необходимых для передачи цифрового цветоразностного сигнала синего цвета C_b .

Последовательность одной группы L_i определяется форматом дискретизации 4:2:2, который принят в качестве основного в стандарте цифрового телевидения [2]. Данный формат выбран из условий восприимчивости человеческого глаза и тем самым устраняет физиологическую избыточность.

После каждой группы в строке передается разряд наличия кода повторений групп r , который указывает на то, что передается за группой. В случае записи в r логической единицы, далее следует код повторений групп. Иначе в r записан логический ноль, т.е. передается следующая группа элементов.

Так как предложенный метод сжатия является методом сжатия без потери качества восстановленного изображения, следовательно, условие A_i принимает лишь два значения

$$A_i = \begin{cases} 1, & \text{при } L_i = L_{i+1} \ (r = 1); \\ \neq 1, & \text{при } L_i \neq L_{i+1} \ (r = 0). \end{cases} \quad (5)$$

Только в случаях поразрядного равенства двух и более групп элементов $A_i = 1$, т.е.

$$L_i = L_{i+1} = \left\{ \begin{array}{l} \log_2 \xi(i)_{Y_{2i-1}} = \log_2 \xi(i+k)_{Y_{2i-1}}; \\ \log_2(i)_{C_r} = \log_2(i+k)_{C_r}; \\ \log_2(i)_{Y_{2i}} = \log_2(i+k)_{Y_{2i}}; \\ \log_2(i)_{C_b} = \log_2(i+k)_{C_b}. \end{array} \right. \quad (6)$$

При условии $A_i = 1$ вместо следующей группы L_{i+k} передается код повторений $\log_2 m_1$, где m_1 – численно выражает количество групп L_{i+k} , поразрядно совпавших с группой L_i . Сжатие происходит за счет того, что для передачи кода повторений групп элементов достаточно 9 разрядов памяти, а для передачи хотя бы одной группы необходимо 32 разряда памяти.

Например, в случае равенства подряд одной группы выражение (3) примет вид

$$n' = (S - \Pi_{\text{гг}}) \times (\log_2 H + r) + \log_2 (H + m_1 + 2b) + r,$$

где $\Pi_{\text{пр}}$ – количество повторений соседних групп L_i и L_{i+k} .

Количество передаваемых строк в телевизионном кадре при применении предложенного метода [4] определяется выражением

$$m' = \sum_{j=1}^Z \left((n'_j A_j + r) + 2 \log_2 b \right) + 2 \log_2 v, \quad (7)$$

где m_1 – количество передаваемых строк кадра изображения при кодировании длинами серий; Z – количество строк в кадре изображения; $\log_2 m_2$ – число разрядов, необходимых для представления кода повторений коррелируемых строк кадра (длин серий в кадре); $\log_2 v$ – число разрядов, необходимых для представления синхросигнала кадра; A_j – условие поразрядного совпадения соседних строк кадра.

После каждой строки (между синхросигналами конца и начала строк [1]) следует разряд наличия кода повторений строк r , который указывает на то, что передается за группой. В случае записи в r логической единицы, далее следует код повторений строк. Иначе в r записан логический ноль, т.е. передается следующая строка кадра.

В случае $A_j = 1$ для соседних строк $n'(j) = n'(j+k)$ в результате применения кодирования длинами серий вместо передачи элементов $n'(j+k)$ строки передается код m_2 , численно выражающий количество поэлементно совпавших строк $n'(j+k)$ со строкой $n'(j)$. Сжатие происходит за счет того, что для передачи кода повторений строк кадра отводится меньше разрядов памяти, чем для передачи кода одной и более строк.

Таким образом, выражение (2) принимает вид

$$W'_k = \sum_{j=1}^Z \left[\left[\sum_{i=1}^S (\log_2 H + r) A_i \right] \times A_j + r + 2 \log_2 b_j \right] + 2 \log_2 v. \quad (8)$$

Оценка эффективности. Оценкой сокращения избыточности кадра изображения является коэффициент сжатия $K_{\text{сж}}$ [5], который представляется в виде отношения объема видеоданных без применения сжатия W_k к объему сжатых видеоданных W'_k :

$$K_{\text{сж}} = \frac{W_k}{W'_k} = \frac{n \times m \times 2 \log_2 b \times 2 \log_2 B + 2 \log_2 v}{\sum_{j=1}^Z \left[\sum_{i=1}^S (\log_2 H + r) A_i \right] \times A_j + r + 2 \log_2 b_j + 2 \log_2 v}. \quad (9)$$

Анализ данного выражения показывает, что предложенный метод обеспечивает высокий коэффициент сжатия видеоизображения при высокой корреляции пикселей и строк телевизионного кадра. Результаты исследований зависимости коэффициента сжатия от количества совпадений строк и пикселей подтверждают этот вывод, т.е. коэффициент

сжатия видеoinформации в предложенном методе незначительно изменяется при количестве совпадений строк и групп, не превышающем 50% (коэффициент сжатия от 1,1 до 3,2). В случае совпадения строк и групп 90% и более – коэффициент сжатия кадра видеoinформации составляет от 61 до 3560 раз.

Выводы. 1 Метод сжатия телевизионного кадра длинами серий позволяет устранить как статистическую, так и структурную избыточности, вызванных наличием корреляции пикселов и строк кадра изображения.

2. Восстановление кодированного видеосюжета разработанным подходом происходит без потери качества исходного изображения.

3. Коэффициент сжатия телевизионного кадра изображения разработанным методом находится в диапазоне от 1,1 до 3560 раз (при 99% корреляции).

4. Реализация предложенного метода на базе современных программно-аппаратных средств позволяет обеспечить проведение обработки видеoinформации в режиме «реального времени».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Recommendation ITU – BT.601 – 4. Encoding parameters of digital television for studios, 1994. – 126 p.*
2. *Брайс Р. Руководство по цифровому телевидению. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 288 с.*
3. *Смирнов А.В. Основы цифрового телевидения. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 223 с.*
4. *Клименко Л.А., Козелков О.А. Метод сжатия кадра цифрового телевизионного изображения // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вып. 4. – С. 82 – 84.*
5. *Зубарев Ю.В., Глориозов Г.Л. Передача изображений. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.*

Поступила 5.04.2004

КОРОЛЁВ Анатолий Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ХВУ. В 1969 году окончил Харьковское ВКИУ. Область научных интересов – обработка и передача информации.

КОЗЕЛКОВ Олег Александрович, адъюнкт ХВУ. Окончил ХВУ в 2001 году. Область научных интересов – цифровая обработка изображений.

ИЛЬИНА Ольга Анатольевна, научный сотрудник информационно-вычислительного центра ХВУ. Окончила ХАИ в 1992 году. Область научных интересов – обработка и передача информации.