

УДК 681.327

*А. В. КОРОЛЕВ*, канд. техн. наук, *В. А. ПЕТУХОВ*

### **МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВЫХ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

---

Широкое применение во всех сферах человеческой деятельности систем автоматизированного управления, проектирования, обучения, тренажерных комплексов и других форм человеко-машинных интерфейсов связано с необходимостью обработки информации в виде синтезированных алфавитно-цифровых, графических и реалистических (телевизионных черно-белых или цветных) изображений. Представление видеoinформации (ВИ) на экранах растровых устройств индикации позволяет визуализировать данные с высоким качеством, однако требует значительных объемов памяти и характеризуется большой продолжительностью цикла обработки. Время обработки существенно зависит от метода кодирования (представления) изображений.

Актуальной является задача определения такой формы описания изображений, которая позволила бы при сохранении высокого качества визуализации уменьшить время обработки и сократить объемы требуемой памяти. В настоящее время используется большое количество специализированных методов описания растровых изображений, но каждый из них позволяет эффективно обрабатывать только узкий класс ВИ. Ставится задача разработки метода кодирования видеoinформации широкого класса цифровых цветных изображений.

Основное представление графических и реалистических изображений — кодирование методом импульсно-кодовой модуляции, которое рассматривается как эталон кодирования. Поэтому возможности и характеристики других методов кодирования обычно оцениваются по отношению к методу ИКМ. При обработке указанным методом,

изображение представляется в цифровой форме путем дискретизации и квантования. Поле изображения ограничено размером раstra  $M = N_v \cdot N_r$  (1). Здесь  $N_v$  — число строк раstra;  $N_r$  — число элементов отображения в строке.

Каждому элементу ставится в соответствие  $m$ -разрядный код  $m = \log_2 W$  (2), где  $W$  — число уровней квантования яркости или цветности. Под цветностью понимается сигнал  $Z = E_R + E_G + E_B$ , т. е. сумма основных цветовых сигналов в цифровой форме. Для черно-белого изображения значение  $m$  принимается равным 6 или 8 бит (64 или 256 уровней квантования яркости), для цветного изображения используется кодирование от 6 до 8 бит на каждый из основных цветов: красный, зеленый, синий. Уменьшение числа бит на 1 элемент вызывает появление ложных контуров, которые возникают в результате скачкообразных изменений яркости или цвета на участках изображения с их плавными изменениями.

Метод ИКМ не использует статистические свойства изображений, т. е. основывается на предположении, что все  $W$  уровней квантования равновероятны, а статистические связи между элементами изображения отсутствуют. В этом случае энтропия, выражаемая числом бит на элемент, будет определяться как

$$H_{\text{макс}} = n_{\text{ср}} \cdot \log_2 r = \log_2 W, \quad (3)$$

где  $n_{\text{ср}}$  — средняя длина кодовой комбинации сообщения;  $r$  — число элементов алфавита  $\{0, 1\}$ .

Исследование статистических связей между элементами указывает на значительную избыточность реалистических (телевизионных) и графических изображений как по яркости ( $Y$ ), так и по цветности ( $Z$ ). Они проявляются в том, что вероятность следования за элементом с уровнем яркости  $i$  элемента с уровнем яркости  $j \neq i$  мала.

Вероятность новых значений ( $P_{\text{изм}}$ ) равна  $1 - \sum_{j=1}^W P_{ij}$ . Энтропия  $H(z)$  изображения, рассматриваемого как источник информации, может принимать следующие значения в зависимости от цветовой детальности, характеризуемой величиной  $P_{\text{изм}}$ :

$$H(Z) = \begin{cases} H_{\text{макс}}, & P_{\text{изм}} = 1; \\ H' < H_{\text{макс}}, & P_{\text{изм}} < 1; \\ 0 & P_{\text{изм}} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Для реальных сюжетов  $P_{\text{изм}} \leq 0,1$  [1], для сложных графических изображений (синтезированных визуальных моделей)  $P_{\text{изм}} \leq 0,2$  [2].

Из теории информации известно, что для любого источника информации, представленного набором сообщений  $X = \{X_1, \dots, X_w\}$  с заданным распределением вероятностей  $P(x_1), \dots, P(x_w)$ , можно построить код с минимальной избыточностью. Для числовой оценки избыточности служит коэффициент избыточности  $K_n$ , определяемый по формуле

$$K_n = \frac{H(x)_{\text{макс}} - H(x)}{H(x)_{\text{макс}}} = \frac{n_{\text{ср}} - n_{\text{мин}}}{n_{\text{ср}}}, \quad (5)$$

где  $H(x)_{\text{макс}}$  — максимальная энтропия сообщения;  $H(x)$  — энтропия сообщения реального кода;  $n_{\text{мин}} = \frac{H(x)}{\log_2 r}$  — минимальная средняя длина кодовой комбинации, при которой еще возможно передать сообщение  $x$  без потери информации.

На основании выражения (5) можно сделать вывод, что для эффективных кодов должно выполняться равенство  $n_{\text{ср}} = n_{\text{мин}}$ , т. е. под эффективным кодом понимается такой код, коэффициент избыточности которого равен нулю.

Оценим избыточность кодирования изображений методом ИКМ с учетом условий, оговоренных в (4):  $K_H = 0, P_{\text{изм}} = 1; K_H = 1, P_{\text{изм}} = 0$ . Таким образом, кодирование методом ИКМ при  $P_{\text{изм}} = 1$  эффективно, но во всех остальных случаях оно обладает избыточностью, достигающей максимума при  $P_{\text{изм}} = 0$ . Оценим эффективность кодирования через среднюю длину кодовой комбинации сообщения. Критерием оценки эффективности реального кода служит неравенство

$$\frac{H(z)}{\log_2 r} \leq n_{\text{ср}} < \frac{H(z)}{\log_2 r}. \quad (6)$$

Для ИКМ  $n_{\text{ср}} = \text{const}$  и определяется из выражения (3), поэтому неравенство (6) выполняется только для изображений с  $P_{\text{изм}} \approx 1$ . Для реалистических и графических изображений это условие не выполняется. Следовательно, для данных классов изображений такой код избыточен и неэффективен, что, в свою очередь, приводит к большому цифровому массиву описания кадра изображения, объем ( $C$ ) которого определяется выражением  $C_{\text{ИКМ}} = M \cdot n_{\text{ср}}$  (7). Большой объем цифрового массива требует значительного времени для обработки и больших затрат памяти на хранение ВИ.

К сокращению цифрового массива ( $C_{\text{ИКМ}}$ ) приводит выбор статистической модели изображения учитывающий статистическую зависимость элементов отображения. Предположим, что кадр изображения разбит на отдельные элементы отображения, а на отрезки, каждый из которых содержит группу элементов. При этом взаимосвязь между укрупненными элементами будет слабее, чем между элементами исходного кадра. Если укрупнение элементов использовать совместно с применением оптимального статистического кода, учитывающего неравномерность распределения вероятностей появления элементов сообщения, то становится возможным устранение избыточности сообщений, что обеспечивает сокращение объема цифрового массива.

На рис. 1, а изображен кадр произвольного цветного изображения в цифровой форме, представленный методом ИКМ. Каждый элемент отображения данного изображения содержит  $m = 24$ -разрядный код, характеризующий его цветность. Используя выражения (1), (3), (7), вычисляем объем цифрового массива —  $C_{\text{ИКМ}}$ .

С целью сокращения  $C_{\text{ИКМ}}$  модифицируем данный кадр следующим образом. Двигаясь по изображению в направлении развертки, каждому  $m$ -разрядному элементу отображения поставим в соответствие элемент  $X_g$  в одну двоичную единицу. Считая, что элемент отображения,

имеющий одинаковую цветность с предыдущим, отмечается «0», а имеющий любую иную цветность — «1», построим битовую карту изменения цветности кадра изображения размером  $M$ . В этой битовой карте

$$X_g = \begin{cases} 0, & X_g = X_{g-1}; \\ 1, & X_g \neq X_{g-1}. \end{cases}$$

Данная битовая карта несет только часть информации, содержащейся в исходном изображении, а именно «картинку» изменения цветности по полю изображения. Для сохранения исходного количества информации дополним битовую карту списком кодов цветности тех элементов  $X_g$ , значения которых равны 1.

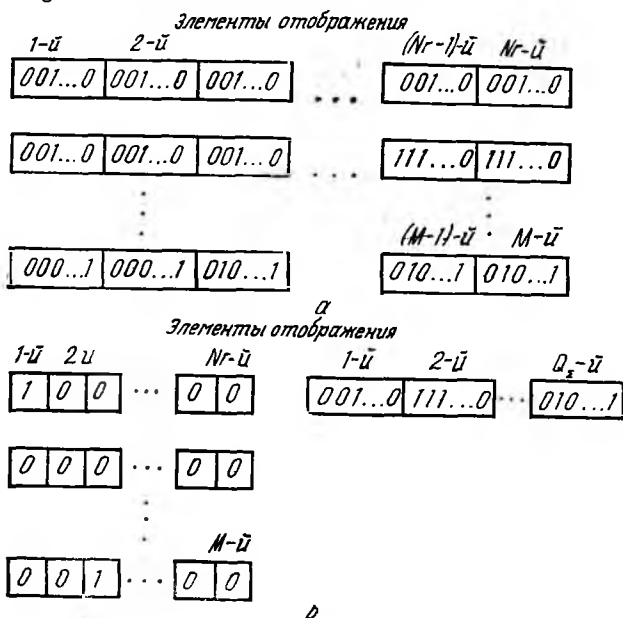


Рис. 1

В результате такого преобразования каждый элемент отображения исходного кадра представлен следующим образом:

$$X_q = \begin{cases} 0, & X_q = X_{q-1}; \\ 1 + m_q, & X_q \neq X_{q-1}. \end{cases} \quad (8)$$

Список кодов цветности в порядке очередности, определяемой направлением развертки, будет содержать массив  $m$ -разрядных кодов цветности. Количество кодов в списке ( $Q_2$ ) будет зависеть от вероятности  $P_{\text{изм}}$  и определяться выражением  $Q_2 = (M - 1) \cdot P_{\text{изм}} + 1$  (9). Графическое представление изображения в цифровой форме, полученное в результате обработки, приведено на рис. 1, б. Объем цифрового массива в этом случае составит:

$$C' = M \cdot 1 \text{ бит} + [(M - 1) \cdot P_{\text{изм}} + 1] m. \quad (10)$$

Модифицированное подобным образом изображение представляет собой источник сообщений, в котором каждое сообщение кодируется кодовыми словами с различной длиной кодовой комбинации. Она может принимать два значения (из условия (8)) — 1 бит или  $1 + m$  бит. Величина второго слагаемого в выражении (10) определяется вероятностью изменения цветности  $P_{\text{изм}}$ , тем самым, с учетом малой величины  $P_{\text{изм}}$  для графических и реалистических изображений, обеспечивается уменьшение объема цифрового массива  $C'$  по сравнению с  $C_{\text{ИКМ}}$ . Для оценки эффективности модифицированного представления изображений используется коэффициент  $K_{\text{и}}$ . Его значение найдем через среднюю длину кодовой комбинации  $n'_{\text{ср}}$ . Согласно выражениям (7) и (10) она составит

$$n'_{\text{ср}} = 1 + \frac{m(M-1) \cdot P_{\text{изм}} + m}{M}. \quad (11)$$

В случае обработки изображения с  $P_{\text{изм}} = 1$ ,  $n'_{\text{ср}}$  будет равно  $1 + m$ , а коэффициент избыточности ( $K_{\text{и}}$ ), определяемый выражением (5), будет равен

$$K_{\text{и}} = \frac{1 + m - \frac{\log_2 W}{\log_2 r}}{1 + m} = \frac{1}{1 + m}.$$

Для изображения с  $P_{\text{изм}} = 0$  коэффициент избыточности будет равен

$$K_{\text{и}} = \frac{1 + \frac{m}{M} - 0}{1 + \frac{m}{M}} = 1.$$

Таким образом, коэффициент избыточности для цифровых цветных изображений, обработанных по предложенному способу, равен  $\frac{1}{1+m} \ll K_{\text{и}} \ll 1$ . Оценку эффективности подобного описания изображений, по сравнению с ИКМ, можно провести также и через коэффициент сжатия — ( $C_r$ ). Он является мерой количественной оценки того, насколько сообщение данного способа по своей средней длине отличается от средней длины кодовой комбинации соответствующего ему сообщения, представленного методом ИКМ, и определяется как

$$C_r = \frac{n'_{\text{ср ИКМ}}}{n'_{\text{ср}}}.$$

По введенным коэффициентам  $K_{\text{и}}$ ,  $C_r$  оценены изображения, имеющие  $0 \leq P_{\text{изм}} \leq 1$  и требующие для кодирования цветности каждого элемента отображения от 6 до 24 бит. Полученные значения приведены на рис. 2, 3.

Зависимости средней длины кодовой комбинации от вероятности изменения цветности элементов отображения  $n'_{\text{ср}} = f(P_{\text{изм}})$  показывают, что данный метод дает заметный выигрыш в средней длине

кодовой комбинации для графических и реалистических изображений (участок с  $0,01 \leq P_{изм} \leq 0,2$ ), следовательно, в этих пределах  $C' \ll C_{ИКМ}$ , что обеспечит сокращение времени цикла обработки видеoinформации и заметный выигрыш в объеме памяти (рис. 2).

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента сжатия от количества разрядов, отводимых для кодирования сигнала цветности,  $C_r = f(m)$  при различных значениях  $P_{изм}$ . Анализ этих кривых позволяет сделать вывод о возможности дальнейшего повышения значения коэффициента сжатия видеoinформации по сравнению с ИКМ. Для наиболее распространенных изображений, имеющих  $0,01 < P_{изм} < 0,2$  и значениях  $m = 6$  и  $m = 24$  коэффициент сжатия соответственно равен  $2,7 \leq C_r \leq 5,7$  и  $4,8 \leq C_r \leq 19,4$ .

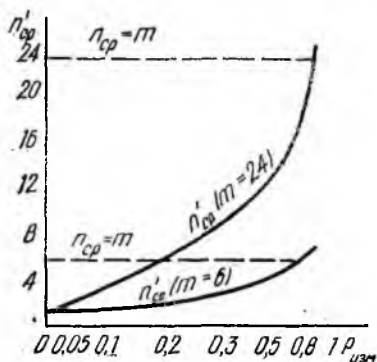


Рис. 2

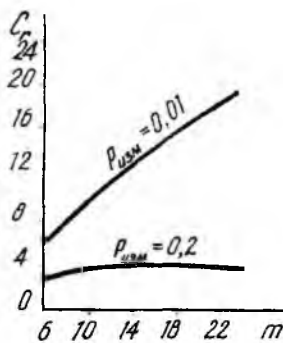


Рис. 3

Предложенный метод кодирования цветных изображений применим в системах, где требуется хранить и передавать большие объемы видеoinформации в виде графических и реалистических изображений.

Список литературы: 1. Зубарев Ю. Б., Глориозов Г. Л. Передача изображений. М., 1982. 54 с. 2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: В 2 кн. М., 1982. Кн. 2. 362 с.

Поступила в редколлегию 10.05.88