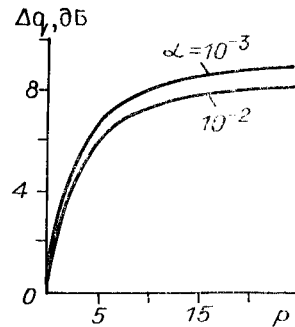


для ориентировочных оценок можно применить формулы (8), где вместо числа r следует использовать число m возможных альтернатив.

На рисунке приведена полученная с помощью указанной методики зависимость (от числа p «слоев стационарности») выигрыша Δq в пороговом отношении С/Ш по сравнению со случаем $p = 1$ при $P_{np} = 0,9$; $\alpha = 10^{-2}$ и 10^{-3} ; $n = 15$; $r = 128$. Число $m = r$ при $p = 1$; при $p > 1$ это число определялось соотношением $m \sim r3^{p-1}$, которое примерно характеризует возможное количество траекторий при условии, что сигнал может либо сохранить свое частотное местоположение, либо сместиться в соседний (справа или слева) интервал в каждом очередном «слое стационарности».



На рисунке показано существенное увеличение эффективности обнаружения при использовании «траекторного анализа». Несмотря на резкое увеличение числа m возможных траекторий с увеличением их «длины» (т. е. числа p), результирующая эффективность решения быстро возрастает с ростом p .

В заключение отметим, что алгоритм обнаружения «сигнальных траекторий» может быть получен и при других моделях распределения исходных данных, а также в случае предварительного бинарного квантования данных, формирующего «единицы» и «нули» в каждой анализируемой паре частотного (пространственного и т. п.) диапазона каждого слоя стационарности. Такое предварительное квантование может существенно облегчить практическую реализацию решающего алгоритма, а также получение решения непараметрической задачи — при неизвестных распределениях исходных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леман Э. Проверка статистических гипотез. — М.: Наука, 1964.
2. Гаек Я., Шидак З. Теория ранговых критериев. — М.: Наука, 1971.
3. Горохов В. Л., Прокофьев В. И. Устойчивые алгоритмы обнаружения сигналов для систем первичной обработки данных больших телескопов // Автоматрия. — 1982. — № 6.
4. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука, 1983.

Поступила в редакцию 25 февраля 1985 г.

УДК 621.397.2 : 519.685

И. М. БОКШТЕЙН

(Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОМПОНЕНТ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОСТИ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Преобразование компонент с интерполяцией по отсчетам [4] представляет собой эффективный метод сжатия описаний многоградационных изображений с целью их передачи по узкополосному каналу связи или хранения в ЗУ малого объема. Применение этого метода позволяет снизить затраты на хранение или передачу таких изображений до 1,5 бит/отсчет при высоком визуальном качестве и малой среднеквадратичной погрешности восстановления.

Процедура кодирования и восстановления полутонного изображения методом преобразования компонент с интерполяцией по отсчетам подробно описана в [1, 8]. В наиболее эффективном варианте метода —

компенсированном с разделением фрагментов — она сводится к следующему.

1. Кодированное изображение I_0 разбивается на компоненты I_1 , I_2 и I_3 , содержащие его «прореженные» отсчеты: $I_k = \{x_{2^k i, 2^k j}\}$, $k = 1, 2, 3$; $i, j = 1, 2, \dots$

2. Формируется разностная компонента $I_2 - I_3$ с отсчетами $y_{4i, 4j}^{(2)}$. Необходимые для этой цели промежуточные отсчеты $\tilde{x}_{4i, 4j}^{(2)}$ (при нечетных i и (или) j) компоненты I_3 определяются путем билинейной интерполяции по известным соседним отсчетам этой компоненты (см. [8]). Билинейная интерполяция на практике сводится к вычислению полусумм пар отсчетов или четвертей сумм четверок отсчетов, окружающих промежуточные отсчеты.

3. Отсчеты компоненты $I_2 - I_3$ квантуются на m_2 уровней.

4. Результаты квантования, а также значения отсчетов $x_{8i, 8j}$ компоненты I_3 кодируются, а затем записываются в ЗУ с целью хранения или передаются по каналу связи.

5. По квантованным значениям отсчетов компоненты $I_2 - I_3$ путем билинейной интерполяции и суммирования с отсчетами компоненты I_3 восстанавливаются значения отсчетов $\bar{x}_{4i, 4j}^{(2)}$ компоненты \bar{I}_2 .

6. Методом, аналогичным описанному в п. 2, формируется разностная компонента $I_1 - \bar{I}_2$ с отсчетами $y_{2i, 2j}^{(1)}$. Ее отсчеты квантуются на m_1 уровней; результаты квантования кодируются, а затем записываются в ЗУ или передаются по каналу связи.

7. Способом, описанным в п. 5, восстанавливаются значения компоненты \bar{I}_1 .

8. Формируется разностная компонента $I_0 - \bar{I}_1$ с отсчетами $y_{i, j}^{(0)}$.

9. Отсчеты $y_{i, j}^{(0)}$ квантуются на $m_0 = 2$ уровня в пределах «шумных» областей размером 4×4 отсчета (т. е. областей, в которых средний модуль значений $y^{(0)}$ превышает порог s^* (см. [8])); внутри «гладких» областей (где средний модуль $y^{(0)}$ не превышает s^*) квантованные значения отсчетов принимаются равными нулю.

10. Результаты квантования компоненты кодируются, после чего записываются в ЗУ или передаются по каналу связи вместе с дополнительной информацией о «гладкости» или «шумности» областей.

11. По считанным из ЗУ или поступившим из канала кодам восстанавливаются отсчеты $\bar{y}^{(0)}$, $\bar{y}^{(1)}$ и $\bar{y}^{(2)}$ разностных компонент, а также отсчеты $x_{8i, 8j}$ компоненты I_3 и информация о свойствах областей. Затем путем билинейной интерполяции и суммирования последовательно определяются отсчеты компонент \bar{I}_2 (см. п. 5) и \bar{I}_1 (см. п. 7) и, наконец, изображения \bar{I}_0 .

Средняя длина кодовых комбинаций для описанного алгоритма кодирования составляет (при квантовании изображения I_0 и его компонент на 256 уровней, выборе $m_0 = 2$ и затратах 1/16 бит на передачу информации о свойствах областей) [4]

$$N_{\text{ср}} = \frac{3}{16} \log_2 m_1 + \frac{3}{64} \log_2 m_2 + \frac{15}{16}. \quad (1)$$

Проведенная в [2] оптимизация позволила построить квазиоптимальную процедуру выбора m_1 и m_2 , обеспечивающую достижение близкой к минимуму среднеквадратичной погрешности восстановления σ при заданном значении $N_{\text{ср}}$. Применение этой процедуры для ряда тестовых изображений показало, что в широком диапазоне сюжетов квазиоптимальным является выбор $m_1 = 5$ и $m_2 = 15$ (в силу естественного желания точно передавать наиболее часто встречающиеся нулевые значения отсчетов компонент m_1 и m_2 должны быть нечетными), при этом $N_{\text{ср}}$ составляет 1,55 бит/отсчет.

Возможности метода преобразования компонент с интерполяцией по отсчетам не ограничиваются кодированием полутоновых изображений; весьма перспективным представляется применение этого метода

для сокращения избыточности цветных изображений (например, для него своими цветовыми составляющими («красной» R_0 , «зеленой» G_0 и «синей» B_0), обычно прежде всего переходят к его представлению яркостной Y_0 и цветоразностными $((R-Y)_0$ и $(B-Y)_0$) составляющими. Цветоразностные составляющие несут в основном информацию об изменениях цвета и могут быть дискретизованы более грубо, чем цветовые или яркостная составляющие.

Поскольку при применении метода преобразования компонент величины I_1 , I_2 и I_3 соответствуют все более грубым вариантам дискретизации исходного изображения I_0 , этот метод может быть использован для кодирования яркостной и цветоразностных составляющих цветного изображения следующим образом:

1) яркостная составляющая Y_0 кодируется описанным выше способом путем разбиения на компоненты Y_1 , Y_2 и Y_3 ;

2) каждая из цветоразностных составляющих $(R-Y)_0$ и $(B-Y)_0$ кодируется по пп. 1—7 алгоритма преобразования компонент; при этом используются только компоненты $(R-Y)_1$, $(R-Y)_2$, $(R-Y)_3$, $(B-Y)_1$, $(B-Y)_2$ и $(B-Y)_3$, но не собственно составляющие $(R-Y)_0$ и $(B-Y)_0$;

3) в канал связи передаются или записываются в ЗУ коды квантованных на $m_0^{(Y)} = 2$, $m_1^{(Y)}$ и $m_2^{(Y)}$ уровней отсчетов разностных компонент $Y_0 - \bar{Y}_1$, $Y_1 - \bar{Y}_2$ и $Y_2 - \bar{Y}_3$, информация о «гладкости» областей, а также коды квантованных на $m_1^{(R-Y)}$, $m_2^{(R-Y)}$, $m_1^{(B-Y)}$ и $m_2^{(B-Y)}$ уровней отсчетов разностных компонент $(R-Y)_1 - (\bar{R}-\bar{Y})_2$, $(\bar{R}-\bar{Y})_2 - (R-Y)_3$, $(B-Y)_1 - (\bar{B}-\bar{Y})_2$ и $(\bar{B}-\bar{Y})_2 - (B-Y)_3$ и опорные отсчеты компонент Y_3 , $(R-Y)_3$ и $(B-Y)_3$;

4) в результате восстановления поступающих из ЗУ или канала связи отсчетов компонент способом, описанным выше, в пп. 5, 7 и 11 алгоритма преобразования компонент, формируются яркостная составляющая \bar{Y}_0 и «прореженные» (т. е. более грубо дискретизованные) цветоразностные составляющие $(R-Y)_1$ и $(B-Y)_1$. Промежуточные отсчеты исходных цветоразностных составляющих $(R-Y)_0$ и $(B-Y)_0$ (необходимые для обратного перехода к цветовым составляющим R_0 , G_0 и B_0) определяются путем билинейной интерполяции по отсчетам компонент $(R-Y)_1$ и $(B-Y)_1$.

В рамках описанного способа сжатия цветных изображений средняя длина кодовых комбинаций, необходимая для описания каждой из цветоразностных составляющих, определяется формулой

$$N_{\text{ср. цветор}} = \frac{3}{16} \log_2 m_{1 \text{ цветор}} + \frac{3}{64} \log_2 m_{2 \text{ цветор}} + \frac{1}{8}, \quad (2)$$

аналогичной формуле (1). Количество уровней квантования компонент яркостной составляющей, по смыслу эквивалентной черно-белому варианту рассматриваемого цветного изображения, целесообразно выбирать таким же, как для черно-белых изображений (т. е. $m_1^{(Y)} = 5$ и $m_2^{(Y)} = 15$). При этом затраты на кодирование яркостной составляющей, определяемые формулой (1), составляют $N_{\text{ср. ярк}} = 1,55$ бит/отсчет и суммарные затраты для всего цветного изображения описываются выражением

$$N_{\text{ср. цв}} = \frac{3}{16} (\log_2 m_1^{(R-Y)} + \log_2 m_1^{(B-Y)}) + \frac{3}{64} (\log_2 m_2^{(R-Y)} + \log_2 m_2^{(B-Y)}) + 1,80. \quad (3)$$

Хотя в принципе можно решить задачу оптимального распределения затрат по всем четырем используемым компонентам, на практике с целью упрощения вычислений позволительно с учетом симметрии задачи отводить на каждую из цветоразностных составляющих одинаковую долю общих затрат $N_{\text{ср. цв}}$. При этом минимальная среднеквадратичная

где $E_1^{(R-Y)}$, $E_1^{(B-Y)}$, $E_2^{(R-Y)}$ и $E_2^{(B-Y)}$ — оценки погрешности квантования по формуле Паптерга и Дайта [4]:

$$E_k^{(\cdot)} = \left(\int_{-\infty}^{\infty} (f_k^{(\cdot)}(y))^{1/3} dy \right)^3 \quad (5)$$

$f_k^{(\cdot)}(y)$ — плотность распределения значений отсчетов соответствующей компоненты составляющей $(R-Y)_0$ или $(B-Y)_0$; $C = 2^{\frac{32}{3}(N_{\text{ср. цв}}^{-1.80})}$. Как и при кодировании черно-белых изображений, получаемые значения $m_1^{(R-Y)}$ и $m_1^{(B-Y)}$ следует округлять в сторону уменьшения до ближайшего нечетного числа, а затем находить $m_2^{(R-Y)}$ и $m_2^{(B-Y)}$ из формулы (3).

С целью количественной оценки зависимости среднеквадратичной погрешности восстановления цветоразностных составляющих от $N_{\text{ср. цв}}$ и определения оптимальных значений m для различных $N_{\text{ср. цв}}$ было проведено моделирование описанного выше метода кодирования. При моделировании использовались четыре тестовых цветных изображения — натурный сюжет «Кремль» (а), портрет «Девочка» (б), сюжет среднего плана «Барабанщики» (в) и пейзажный сюжет «Дом» (г); яркие составляющие указанных изображений показаны на рисунке. Каждое изображение было представлено в виде трех матриц по 512×512 отсчетов, соответствующих его «красной», «зеленой» и «синей» составляющим. Отсчеты квантовались на 256 уровней и вводились в ЭВМ с помощью сканирующего микроденситометра, снабженного необходимыми цветными фильтрами.

После ввода в ЭВМ формировались яркие $Y_0 = 0,3R_0 + 0,59G_0 + 0,11B_0$ и цветоразностные $(R-Y)_0 = (R_0 - Y_0)/1,4 + 128$ и $(B-Y)_0 = (B_0 - Y_0)/1,78 + 128$ составляющие изображений (умножение на $1/1,4$ и $1/1,78$, а также добавление константы 128 обеспечивало совпадение диапазона возможного изменения цветоразностных составляющих с диапазоном (0, 255) изменения яркостной составляющей). Затем для цветоразностных компонент находились плотности распределения $f_k^{(\cdot)}$ и по формуле (5) определялись значения $E_k^{(\cdot)}$. Эти значения использовались для определения оптимальных $m_1^{(R-Y)}$, $m_2^{(R-Y)}$, $m_1^{(B-Y)}$ и $m_2^{(B-Y)}$ для различных $N_{\text{ср. цв}}$.

Результаты моделирования сведены в табл. 1. Для каждого значения $N_{\text{ср. цв}}$ в этой таблице приведены как оптимальные значения m , так и теоретические значения среднеквадратичной погрешности $\sigma_{(\cdot)}$ восстановления цветоразностных составляющих $(R-Y)_1$ и $(B-Y)_1$. Эти значения вычислялись по формуле

$$\sigma_{(\cdot)}^2 = \frac{1}{16} \left(\frac{E_1^{(\cdot)}}{4m_1^{(\cdot)}} + \frac{E_2^{(\cdot)}}{16m_2^{(\cdot)}} \right). \quad (6)$$

Из табл. 1 видно, что при заданном $N_{\text{ср. цв}}$ значения $m_1^{(\cdot)}$ и $m_2^{(\cdot)}$ зависят от выбора сюжета и от «цвета» составляющей; это позволит выбрать единые для обеих составляющих значения m_1 и m_2 , оптималь-



ные для кодирования сюжетов различных типов. Поскольку значения $\sigma_{(.)}$ остаются малыми (1–2,5 уровня квантования) вплоть до значений $m_1 = 3$, $m_2 = 5$, именно эти значения целесообразно зафиксировать для квантования компонент цветоразностных составляющих. Подстановка их в формулу (3) дает для средней длины кодовых комбинаций величину $N_{\text{ср. дл.}} = 2,62$ бит/отсчет, что соответствует сжатию в 9,2 раза исходной 24-разрядной кодовой последовательности.

После определения оптимальных значений m_1 и m_2 цветные изображения (см. рисунок) были подвергнуты описанной выше процедуре кодирования с преобразованием компонент. Для всех компонент каждой из составляющих определялись гистограммы распределения значений $f_k^{(.)}$, а затем по формулам Макса [5] выбирались уровни квантования и границы интервалов квантования, обеспечивающие минимальную среднеквадратичную погрешность. Далее выполнялось собственно кодирование, результаты которого соответствовали средней длине кодовых комбинаций 2,62 бит/отсчет. По полученным кодовым последовательностям были восстановлены вначале яркостная \bar{Y}_0 и цветоразностные $(\bar{R} - \bar{Y})_1$ и $(\bar{B} - \bar{Y})_1$ составляющие исходных изображений, а затем и их цветные составляющие \bar{R}_0 , \bar{G}_0 и \bar{B}_0 . Для количественной оценки результатов восстановления определялись фактические значения среднеквадратичной погрешности восстановления цветных и цветоразностных составляющих. Эти значения сведены в табл. 2 (отметим, что погрешности восстановления цветоразностных составляющих соответствуют их дискретизации на 512×512 отсчетов, причем промежуточные отсчеты восстанавливаются путем билинейной интерполяции; этим и объясняется увеличение погрешностей по сравнению с приведенными в табл. 1 теоретическими значениями). При вычислениях не учитывались имеющиеся на изобра-

Таблица 1

Значения $E_k^{(\cdot)}$ и $m_k^{(\cdot)}$ для цветоразностных составляющих изображений рисунка при различной средней длине кодовых комбинаций $N_{\text{ср. цв}}$

Сюжет	$E_1^{(R-Y)}$	$E_2^{(R-Y)}$	$E_1^{(B-Y)}$	$E_2^{(B-Y)}$	$N_{\text{ср. цв.}} / \text{бит/отсчет}$	$m_1^{(R-Y)}$	$m_2^{(R-Y)}$	$m_1^{(B-Y)}$	$m_2^{(B-Y)}$	σ_{R-Y}	σ_{B-Y}
«Кремль»	612,368	772,736	604,995	776,380	2,55	1	255	1	255	3,1	3,1
					2,65	3	5	3	5	1,1	1,1
					2,75	3	13	3	13	1,0	1,0
					2,85	3	29	3	29	1,0	1,0
					2,95	5	7	5	7	0,7	0,7
					3,05	5	15	5	15	0,6	0,6
«Девочка»	1095,13	2353,07	1182,97	1950,79	2,55	1	255	1	255	4,1	4,3
					2,65	3	5	3	5	1,5	1,5
					2,75	3	13	3	13	1,4	1,4
					2,85	3	29	3	29	1,4	1,4
					2,95	5	7	5	7	0,9	0,9
					3,05	5	15	5	15	0,9	0,9
«Бараба- щики»	1293,69	2947,82	1205,80	2281,75	2,55	1	255	1	255	4,5	4,3
					2,65	3	5	3	5	1,6	1,6
					2,75	3	13	3	13	1,5	1,5
					2,85	3	29	3	29	1,5	1,5
					2,95	5	7	5	7	1,0	1,0
					3,05	5	15	5	15	0,9	0,9
«Дом»	3076,35	4923,51	1507,83	1853,05	2,55	1	255	1	255	6,9	4,9
					2,65	3	5	3	5	2,5	1,7
					2,75	3	13	3	13	2,3	1,6
					2,85	3	29	3	29	2,3	1,6
					2,95	5	7	5	7	1,5	1,0
					3,05	5	15	5	15	1,4	1,0

жепиях черные поля. Поскольку значения погрешности определяют лишь качество восстановления отдельных компонент, но не правильность цветопередачи, для каждого из изображений было найдено также среднее цветовое расстояние $\Delta D_{\text{ср}}$ между отсчетами исходного изображения и изображения, подвергнутого кодированию. Для каждого из отсчетов цветовое расстояние ΔD определялось по формулам, рекомендованным МКО в 1964 г. [6]:

$$\Delta D = \sqrt{(\Delta U^*)^2 + (\Delta V^*)^2 + (\Delta W^*)^2}, \quad (7)$$

где

$$W^* = \begin{cases} 25Y^{1/3} - 17 & \text{при } 1 \leq KY_0 = Y \leq 100; \\ 0 & \text{при } Y < 1; \end{cases} \quad (8)$$

$$U^* = 13W^*(u - u_0); \quad (9)$$

$$V^* = 13W^*(v - v_0); \quad (10)$$

$$u = \frac{0,98R_0 + 0,62G_0 + 0,4B_0}{1,57253R_0 + 6,26288G_0 + 1,66459B_0}; \quad (11)$$

$$v = \frac{0,531R_0 + 2,43714G_0 + 0,03186B_0}{1,57253R_0 + 6,26288G_0 + 1,66459B_0}; \quad (12)$$

$u_0 = 0,21053$ и $v_0 = 0,31579$ — координаты белого цвета на равноконтрастной диаграмме МКО; K — постоянный коэффициент (100/255 при квантовании цветовых составляющих на 256 уровней). Значения $\Delta D_{\text{ср}}$ для различных сюжетов приведены в табл. 3. Предварительная субъективная оценка визуального качества восстановленных цветных изобра-

Т а б л и ц а 2

Погрешности восстановления составляющих изображений рисунка, достигаемые при $N_{\text{ср. цв.}} = 2,62$ бит/отсчет

Сюжет	Погрешности восстановления, в уровнях квантования исходного изображения					
	σ_Y	σ_{R-Y}	σ_{B-Y}	σ_R	σ_G	σ_B
«Кремль»	13,0	2,8	2,9	10,9	10,7	9,8
«Девочка»	5,2	4,9	4,6	8,1	6,8	9,2
«Барабанщики»	6,2	4,9	4,7	8,6	7,6	9,9
«Дом»	9,2	5,8	5,0	10,7	10,8	13,1

Т а б л и ц а 3

Средние цветовые расстояния между исходными и восстановленными изображениями рисунка при $N_{\text{ср. цв.}} = 2,62$ бит/отсчет

Сюжет	$\Delta D_{\text{ср}}$
«Кремль»	5,7
«Девочка»	14,2
«Барабанщики»	10,7
«Дом»	12,4

жений, воспроизводимых на экране цветного телевизионного монитора, показала их практическую неотличимость от исходных 24-разрядных изображений.

Анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3, а также результатов визуальной оценки качества восстановления позволяет сделать следующие выводы.

Погрешность восстановления яркостной и цветоразностных составляющих (3—13 уровней квантования) находится в тех же пределах, что и погрешность восстановления черно-белых изображений, закодированных методом преобразования компонент. Значение погрешности возрастает с увеличением степени детальности составляющих. Так, для высокодетального, но бедного в цветовом отношении сюжета «Кремль» погрешность восстановления яркостной составляющей σ_Y получается значительной (13 уровней), а погрешности восстановления цветоразностных компонент σ_{R-Y} и σ_{B-Y} — гораздо меньшими (2,8 уровня). Напротив, для менее детальных, но содержащих более насыщенные и контрастные цвета сюжетов «Девочка» и «Барабанщики» величина σ_Y оказывается небольшой (5,2 и 6,2 уровня соответственно), а значения σ_{R-Y} и σ_{B-Y} возрастают почти в 2 раза по сравнению с сюжетом «Кремль». Наибольшие значения погрешностей возникают при работе с высокодетальным и многоцветным сюжетом «Дом».

При переходе от яркостной и цветоразностной составляющих к цветовым составляющим погрешности более или менее равномерно перераспределяются между всеми тремя цветовыми составляющими и оказываются почти одинаковыми для всех четырех сюжетов.

Цветовое расстояние $\Delta D_{\text{ср}}$ между исходными и восстановленными изображениями мало зависит от степени детальности яркостных составляющих и определяется в основном правильностью воспроизведения цветов. Максимальное значение $\Delta D_{\text{ср}}$ достигается для наиболее богатого в смысле цвета сюжета «Девочка», а минимальное — для очень детального, но имеющего малую цветовую насыщенность сюжета «Кремль».

Небольшие значения среднеквадратичных погрешностей и цветового расстояния и весьма хорошие результаты визуального сравнения изображений свидетельствуют о том, что метод преобразования компонент с интерполяцией по отсчетам может быть с успехом использован для сокращения избыточности цветных изображений, а также о разумности распределения уровней квантования по компонентам.

В заключение следует обратить внимание на то, что предложенный метод кодирования допускает относительно простую аппаратную реализацию, сходную с описанной в [7] для одного из вариантов кодирования черно-белых изображений с преобразованием компонент. Кроме того, он, по-видимому, должен обладать высокой помехоустойчивостью.

Данные, подлежащие передаче, могут быть подвергнуты статистическому кодированию; это приведет к дальнейшему сокращению средней длины кодовых комбинаций. Указанные соображения подтверждают широкие возможности применения метода преобразования компонент в системах цветного телевидения и других системах передачи цветных изображений по каналам связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокштейн И. М. Билинейная интерполяция при сокращенном описании неподвижных полутоновых изображений // Тр. НИИР.— 1980.— № 3.
2. Бокштейн И. М. Статистическая оценка возможностей метода преобразования компонент с интерполяцией по отсчетам // Шестой междунар. симп. по теории информации: Тез. докл.— Москва; Ташкент: АН СССР, АН УзССР, 1984.— Ч. 2.
3. Певзнер Б. М. Системы цветного телевидения.— Л.: Энергия, 1969.
4. Panther P. F., Dite W. Quantizing distortion in pulse count modulation // Proc. of the IRE.— 1951.— V. 39, N 1.— P. 44.
5. Max Y. Quantizing for minimum distortion // IRE Trans. on Inform. Theory.— 1960.— V. IT-6, N 3.— P. 7.
6. Wyszceki G. Proposal for a new color-difference formula // JOSA.— 1963.— V. 53, N 11.— P. 1318.
7. Бокштейн И. М. Аппаратурная реализация системы эффективного кодирования изображений, использующей метод преобразования компонент с интерполяцией по отсчетам // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов: Тез. докл. конф. II.— Рига: ИЭиВТ АН ЛатвССР, 1983.
8. Бокштейн И. М. Метод преобразования компонент и его предельные возможности // Кодирование и обработка изображений.— М.: Наука, 1988.

Поступила в редакцию 21 января 1987 г.
