

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник¹, А.Ю. Школьник², Н.А. Королева³¹ Харківський університет Воздушних Сил імені Івана Кожедуба, Харків;² Національний авіаційний університет, Київ;³ Українська державна академія залізничного транспорту, Харків.

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЧНО-МАСШТАБИРУЮЩИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ФРАГМЕНТА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Обосновывается необходимость дополнительной обработки построчно-масштабирующей формы фрагментов изображений для повышения степени сжатия насыщенных изображений. Для этого разрабатывается модель оценки информативности построчно-масштабирующей формы на основе выявления интегрированных закономерностей с учетом особенностей построения апертурной аппроксимации. Доказывается, что такое представление позволяет сократить количество структурной избыточности, обусловленной наличием цветовых перепадов между соседними компонентами построчно-масштабирующей формы.

Ключевые слова: построчно-масштабирующее описание фрагментов, оценки информативности.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы.

С позиции информатизации общества и обеспечения информационной безопасности одними из ключевых свойств информации являются ее целостность и доступность. В условиях получения информации с использованием средств дистанционного видеонаблюдения выполнение данных свойств в первую очередь достигается за счет своевременности и достоверности доставки видеоданных. Такая зависимость обусловлена ограниченностью сеанса связи с бортовыми системами [1; 2]. Следовательно, исследования проводимые по данной тематике являются актуальными.

В настоящее время все большую популярность для дистанционного получения видеoinформации приобретают беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Беспилотники относятся к системам ограниченной мощности. Значит, на свойства видеoinформации оказывают влияние задержки на обработку и передачу данных. Сокращение объемов видеоданных, а следовательно, уменьшение времени передачи достигается за счет интегрирования технологий компрессии изображений [3; 4]. При этом в условиях БПЛА требуется использовать методы сжатия насыщенных реалистических изображений с контролируемой сложностью технической реализации.

В работе [5] показано, что эффективным с таких позиций является технология сжатия с использованием построения апертурной структуры изображений. В данном случае видеоданные описываются апертурой, т.е. $x_{\xi, \gamma+r} = h_{\xi}$, $r=0, \ell_{\xi}-1$, где h_{ξ} - аппроксимирующее значение для ξ -й видеопоследовательности, элементы $x_{\xi, \gamma+r}$ которой имеют ограниченные динамические диапазоны, ℓ_{ξ} - длина ξ -го участка с ограниченным динамическим диапазоном.

С позиции минимизации временных затрат в условиях сжатия с контролируемыми искажениями используется аппроксимирующая функция

$$f_a(X^{(\xi)}) = \bar{x}_{\xi}, \quad \bar{x}_{\xi} = \left(\sum_{r=0}^{\ell_{\xi}-1} x_{\xi, \gamma+r} \right) / \ell_{\xi},$$

где \bar{x}_{ξ} - среднее значение по всем элементам апертюры.

Степень компрессии η определяется как

$$\eta = d Z_{\text{lin}} Z_{\text{col}} / (D_x + D_{\ell}),$$

где D_x , D_{ℓ} - суммарные объемы цифрового представления соответственно для координат начального элемента апертюры и для их длин, соответственно равные

$D_x = d v_a$; $D_{\ell} = \sum_{\xi=1}^{v_a} \log_2 \ell_{\xi}$. Здесь v_a - коли-

чество апертур для $b > 1$. Как видно, степень сжатия зависит от суммарных затрат двоичных разрядов, отводимых на представление высот апертур всего изображения. Отсюда можно заключить, что для повышения степени сжатия необходимо проводить дополнительную обработку высот апертур. Поэлементное кодирование высот апертур будет неэффективным в случае несоответствия их значений реальному динамическому диапазону обрабатываемых фрагментов изображений. Для обеспечения сжатия изображений предлагается исследовать возможность обработки компонент апертурного описания на базе интегрированного структурно подхода с учетом особенностей формирования типовых параметров аперттуры. Поэтому цель статьи состоит в создании модели оценки информативности интегрированной обработки последовательностей высот апертур.

Разработка информационной модели

Рассмотрим обоснование подхода для кодового представления аппроксимирующих величин аперттуры (АВА). В процессе описания аперттур изображения формируются аппроксимирующие величины h_{ξ} . Тогда для n -мерной последовательности аперттур образуется вектор H_n ,

$$H_n = \{h_1, \dots, h_j, \dots, h_n\}.$$

Компонентами вектора являются значения аппроксимирующих величин аперттур (АВА) изображения. Это позволяет рассматривать данную совокупность как *координатно-яркостная* составляющая архитектуры фрагмента изображения. На базе координатно-яркостной составляющей формируется вторая составляющая фрагмента изображения, а именно *построчно масштабирующая форма* (ПМФ). Такая форма базируется на аппроксимирующих величинах аперттур, несущих наибольшее количество информации о яркостных характеристиках фрагмента изображения. Масштабирование достигается в результате замены последовательности элементов видеоданных аппроксимирующей величиной. Особенность масштабирования в том, что имеет построчное направление и описывает неравномерное количество элементов.

Понятно, что большее количество информации можно получить в случае рассмотрения последовательности аппроксимирующих величин аперттур, а не отдельных компонент вектора H_n . В этом случае существует возможность выявить закономерности, свойственные совместному анализу компонент вектора H_n . Действительно, в условиях формирования аперттур изображений в рамках их описания на основе структурно подхода, для последовательностей величин АВА, проявляются следующие закономерности:

1. Две соседние аперттуры $X^{(\xi)}$ и $X^{(\xi+1)}$ (где $\xi = \overline{1, n}$) имеют различные значения аппроксимирующих величин, т.е.

$$h_{\xi} \neq h_{\xi+1}, \quad \xi = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Действительно. Пусть для множество Ψ_{ξ} содержит элементы, принадлежащие ξ -й аперттуре. Тогда по условию построения аперттур для двух множеств Ψ_{ξ} и $\Psi_{\xi+1}$, образованных элементами двух соседних аперттур выполняется соотношение $\Psi_{\xi} \cap \Psi_{\xi+1} = \emptyset$, т.е. две соседние аперттуры не будут иметь общих элементов. Это обусловлено условием формирования границ аперттур. Если для ξ -й аперттуры границы равны $b(\max)_{\xi}$ и $b(\min)_{\xi}$, то границы следующей аперттуры будут определяться по одному из выражений:

$$\begin{cases} b(\max)_{\xi+1} = b(\max)_{\xi} + b; \\ b(\min)_{\xi+1} = b(\max)_{\xi}, \quad \rightarrow x_{\xi, \ell_{\xi}} > b(\max)_{\xi}; \\ b(\max)_{\xi+1} = b(\min)_{\xi}; \\ b(\min)_{\xi+1} = b(\max)_{\xi} - b, \quad \rightarrow x_{\xi, \ell_{\xi}} < b(\min)_{\xi}. \end{cases}$$

Тогда в случае появления элемента попадающего в границы предыдущей аперттуры будет образовываться следующая аперттура. Отсюда следует выполнение соотношения (1).

2. Для локальных участков вектора H_n , значения аппроксимирующих величин аперттур будут находиться в ограниченном динамическом диапазоне, т.е.

$$h_{i, \min} \leq h_1, \dots, h_j, \dots, h_n \leq h_{i, \max}. \quad (2)$$

Здесь разница между величиной верхнего уровня $h_{i, \max}$ и величиной нижнего уровня $h_{i, \min}$ диапазона величин h_i , на интервале $1 \leq i \leq n$ будет меньше, чем максимальный динамический диапазон для элементов аперттур, определяемый как $x_{\max} - x_{\min} < 255$. Для учета закономерностей, задаваемых соотношениями (1) и (2) предлагается три подхода относительно представления аппроксимирующих величин аперттур.

Первый подход заключается в том, что на основе компонент вектора H_n формируются двумерные массивы $H_{m, n}^{(v)} = \{h_{ij}\}$ размером m строк длиной n элементов (v – количество массивов, которое можно сформировать на основе выявления аперттур для всего изображения). Это позволит сгруппировать последовательности аппроксимирующих величин аперттур в локальных областях. Значения элементов такого массива будут ограничены сверху, следующим уровнем:

$$h_{ij} \leq h_{i, \max}, \quad h_{i, \max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{h_{ij}\}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (3)$$

в общем случае $h_{i, \max} \neq h_{u, \max}$, где $i \neq u$ и $i, u = \overline{1, m}$.

Второй подход состоит в сокращении динамического диапазона аппроксимирующих величин аперттур в пределах каждой строки, следующим образом:

$$h'_{ij} = h_{ij} - h_{i, \min}, \quad h_{i, \min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{ij}\}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (4)$$

Тогда последовательность ΔH_n элементов АВА можно рассматривать как одномерное позиционное число в дифференциальном пространстве, т.е.

$$\Delta H_n = \{h_{i1} - h_{i,\min}, \dots, h_{ij} - h_{i,\min}, \dots, h_{in} - h_{i,\min}\}, \quad (5)$$

где $h'_{ij} = h_{ij} - h_{i,\min}$ - j -й элемент одномерного дифференциального позиционного числа (ОДПЧ).

Из (5) следует, что элементы h'_{ij} принимают значения в диапазоне $h'_{ij} \in [0; h_{i,\max} - h_{i,\min}]$, т.е.:

а) интегрированное структурное описание последовательности апертур на основе их представления одномерным позиционным числом в дифференциальном пространстве задается формулой [3; 5]:

$$f_n(H_n) = \sum_{j=1}^n h'_{ij} V_{i,n-j}^{(h)}, \quad (6)$$

где $V_{i,n-j}^{(h)}$ - весовой коэффициент i -го элемента ОДПЧ $V_{i,n-j}^{(h)} = (h_{i,\max} - h_{i,\min})^{n-j}$;

б) количество $V_n^{(h)}$ различных последовательностей ΔH_n , длиной n , которое можно составить на основе формирования различных ОДПЧ равно $V_n^{(h)} = (h_{i,\max} - h_{i,\min})^n$;

в) максимальный объем цифрового описания апертуры на основе кода-образующей функции ОДПЧ оценивается по формуле

$$D_n^{(h)} = \log_2 V_n^{(h)} = (n[\log_2(h_{i,\max} - h_{i,\min})] + 1).$$

Третий подход заключается в рассмотрении значений аппроксимирующих величин h'_{ij} как элементов, имеющих следующий динамический диапазон, т.е.:

- динамический диапазон элемента массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ с координатами $(i; j)$ будет равен $w(h)_{i1} = h_{1,\max} - h_{1,\min} + 1$;

- динамический диапазон всех остальных элементов согласно условию (1) определяется как $w(h)_{ij} = h_{i,\max} - h_{i,\min}$, т.е. уменьшается на единицу, где $i = \overline{2, m}$ для $j = 1$ и $i = \overline{1, m}$ для $j \geq 2$. Это обусловлено тем, что возможные значения элементов h'_{ij} для $i = \overline{2, m}$ при $j = 1$ и $i = \overline{1, m}$ при $j \geq 2$ будет исключать одно значение, которое соответствует предыдущему элементу и $h'_{ij} \in [0; h_{i,\max} - h_{i,\min}]$.

Значит, на основе предложенных преобразований для вектора аппроксимирующих величин апертур формируются массивы $\Delta H_{m,n}^{(v)}$, элементы которых удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{aligned} h'_{i1} &\leq w(h)_{i1} = h_{1,\max} - h_{1,\min} + 1; \\ h'_{ij} &\leq w(h)_{ij} = h_{i,\max} - h_{i,\min}, \\ i &= \overline{2, m} \text{ для } j = 1 \text{ и } i = \overline{1, m} \text{ для } j \geq 2. \end{aligned} \quad (7)$$

В этом случае для массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ можно сформулировать следующую интерпретацию.

Массив $\Delta H_{m,n}^{(v)}$, для элементов которого выполняются условия (7), так, что в общем случае $w(h)_{ij} \neq w(h)_{uv}$, $i \neq u$, $j \neq v$ и $i, u = \overline{1, m}$, $j, v = \overline{1, n}$,

будем называть двумерным адаптивным позиционным числом с неравными соседними элементами (ДАПЧ) с системой оснований $W(h) = \{w(h)_{ij}\}$.

Для такого подхода относительно представления последовательности аппроксимирующих величин апертур оценка информативности сводится к определению количества допустимых ПЧНСЭ. В общем случае для полиадической системы счисления количество допустимых чисел равно $\prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n w(h)_{ij}$. Следовательно-

но, с учетом соотношений для величин оснований $w(h)_{ij}$, получим следующее выражения для определения количества $V_{m,n}^{(h)}$ допустимых ДПЧНСЭ:

$$\begin{aligned} V_{m,n}^{(h)} &= \prod_{i=1}^m \prod_{j=1}^n w(h)_{ij} = (h_{1,\max} - h_{1,\min} + 1) \times \\ &\times (w(h)_{1j})^{n-1} \prod_{i=2}^m (h_{i,\max} - h_{i,\min})^n. \end{aligned} \quad (8)$$

Данное выражение учитывает:

- неизменность оснований для элементов строки;
- неравенство соседних элементов строки;
- возможную неравнозначность оснований элементов столбцов.

В случае, если основания элементов для каждой строки будут равными, т.е.

$$\begin{aligned} h_{1,\max} - h_{1,\min} &= \dots = h_{i,\max} - h_{i,\min} = \dots = \\ &= h_{m,\max} - h_{m,\min} = w(h), \end{aligned}$$

то формула (8) примет вид

$$V_{m,n}^{(h)} = w(h)_{11} w(h)^{nm-1}.$$

Согласно соотношению (8) максимальное количество $D_{m,n}^{(h)}$ разрядов, затрачиваемое на представление массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ аппроксимирующих величин апертур, вычисляется по формуле

$$\begin{aligned} D_{m,n}^{(h)} &= [\log_2(h_{1,\max} - h_{1,\min} + 1) + (n-1)\log_2 w(h)_{1j} + \\ &+ n \sum_{i=2}^m \log_2(h_{i,\max} - h_{i,\min})] + 1, \end{aligned}$$

т.е. среднее количество $\overline{D}_{m,n}^{(h)}$ двоичных разрядов, приходящееся на один элемент массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$, равно

$$\begin{aligned} \overline{D}_{m,n}^{(h)} &= \frac{[\log_2(h_{1,\max} - h_{1,\min} + 1) + (n-1)\log_2 w(h)_{1j} + \\ &+ \left(\sum_{i=2}^m \log_2(h_{i,\max} - h_{i,\min}) \right) + 1]}{m n}. \end{aligned}$$

Тогда минимальное количество $\overline{S}_{\min}^{(h)}$ избыточности в случае представления аппроксимирующей величины апертуры как отдельной величины относительно ее представления как элемента массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$, т.е. как элемент полиадического числа с неравными соседними элементами оценивается на ос-

нове вираження

$$\bar{S}_{\min}^{(h)} = \frac{8 - \bar{D}_{m,n}^{(h)}}{8} \times 100\% = \left(1 - \left[\frac{\log_2(h_{i,\max} - h_{i,\min} + 1)}{8mn}\right] + \frac{\log_2 w(h)_{1j}}{8m} + \sum_{i=2}^m \log_2(h_{i,\max} - h_{i,\min}) / (8m)\right) 100\%.$$

Поскольку в независимости от индекса i строки выполняется неравенство $\log_2(h_{i,\max} - h_{i,\min}) \leq 8$, то минимальное количество избыточности будет отлично от нулевого уровня, т.е. $\bar{S}_{\min}^{(h)} > 0\%$. Следовательно, можно заключить, что в результате представления последовательностей, составленных из аппроксимирующих величин, полиадических числами с неравными соседними элементами достигается сокращения избыточности относительно рассмотрения отдельных АВА. Уменьшение избыточности достигается в результате учета структурно-комбинаторных закономерностей в массивах, составленных из аппроксимирующих величин апертур, которые проявляются в том, что:

- для строк массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ проявляется ограниченность динамического диапазона как снизу, так и сверху (условие (2));
- выполняется ограничение на неравенство между соседними элементами АВА (условие (1)).

По изложенному материалу можно заключить:

- 1) представление массивов построчно-масштабирующей составляющей фрагмента изображения в виде двумерных адаптивных позиционных чисел с неравными соседними элементами, позволяет снизить количество разрядов на их описание;
- 2) минимальное количество избыточности обусловленное: ограниченностью динамического диапазона элементов ОАПЧ как снизу, так и сверху; выполнением ограничения на неравенство между соседними элементами строк массива аппроксимирующих величин апертур.

Выводы

1. Разработан способ описания и информационная модель массивов построчно-масштабирующей формы (ПМФ) фрагмента изображения на основе представления аппроксимирующих величин апертур в виде элементов двумерных адаптивных позиционных чисел с неравными соседними элементами. Это позволяет:

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ РЯДКОВО-МАСШТАБУЮЧИХ СКЛАДОВИХ ФРАГМЕНТА ЗОБРАЖЕННЯ

В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, Н.А. Корольова

Обґрунтовується необхідність додаткової обробки рядково-масштабуючої форми фрагментів зображень для підвищення ступеня стиснення насичених зображень. Для цього розробляється модель оцінки інформативності рядково-масштабуючої форми на основі виявлення інтегрованих закономірностей з врахуванням особливостей побудови апертурної апроксимації. Доводиться, що таке представлення дозволяє скоротити кількість структурної надмірності, обумовленої наявністю кольірних перепадів між сусідніми компонентами рядково-масштабуючої форми.

Ключові слова: рядково-масштабуючий опис фрагментів, оцінки інформативності.

INFORMATIVE MODEL THE STRING SCALING CONSTITUENTS OF FRAGMENT OF IMAGE

V.V. Barannik, A.Yu. Shkolnyk, N.A. Korolova

The necessity of aftertreatment is grounded string scaling form of fragments of images for the increase of degree of compression of the saturated images. For this purpose the model of estimation of informing is developed string scaling form on the basis of exposure of computer-integrated conformities to the law taking into account the features of construction aperture of approximation. Proved, what presentation allows to shorten the amount of structural surplus, conditioned the presence of colour overfalls between nearby components string scaling form.

Keywords: string scaling description of fragments, estimations of informin.

1) адаптироваться к свойствам строк массивов ПМФ за счет учета закономерностей в:

- строках массивов ПМФ, состоящих в неравенстве значений соседних элементов, т.е. наличием яркостных (цветовых) перепадов между соседними компонентами построчно-масштабирующей формы;
- динамических диапазонах массивов ПМФ, состоящих в ограниченности и неравномерности их значений за счет формирования оснований позиционного числа в каждой строке;

2) адаптироваться к неравномерности динамических диапазонов ПМФ в случае обработки насыщенных фрагментов изображений в результате формирования для позиционного числа множественной системы оснований

2. Обеспечиваются потенциальные возможности относительно повышения степени сжатия за счет:

- сокращения структурной избыточности, обусловленной: выявлением структурно-комбинаторных закономерностей в построчно-масштабирующей форме фрагмента изображения.
- выявления дополнительных структурных закономерностей, обусловленных неравномерностью соседних элементов, т.е. наличием яркостных (цветовых) перепадов между соседними компонентами построчно-масштабирующей формы.

Список литературы

1. Концепція національної безпеки України: Постанова Верховної Ради України від 16 січня 1997 № 3/97-ВР// ВВР. – 1997. – № 10. – С. 85.
2. Про Концепцію Національної програми інформатизації: Закон України від 04.02.1998.
3. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х.: ХУПС, 2009. – 252 с.
4. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М: Техносфера, 2004. – 368 с.
5. Баранник В.В. Модель оценки информативности структурного описания координат вершин слайдов нулевого порядка / В.В. Баранник, А.П. Скрынык, Н.А. Королева // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2010. – № 4(16). – С. 59-63.

Поступила в редколлегию 2.10.2011

Рецензент: д-р тех. наук, проф. В.И. Хаханов, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.