

# Інфокомунікаційні системи

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник<sup>1</sup>, Н.А. Королева<sup>2</sup>, А.Ю. Школьник<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Харківський університет Воздушних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup> Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

<sup>3</sup> Національний авіаційний університет, Київ

## МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ АПЕРТУРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Обосновано, что обеспечение степени сжатия с контролируемой потерей качества реконструируемых изображений в рамках допустимой сложности реализации достигается на основе их предварительной апертурной аппроксимации. Это позволяет локализовать структурные, психовизуальные и статистические особенности изображения в пространственно-временной области. Излагаются основные этапы и преимущества метода динамического управления выбором параметров аппроксимации видеопоследовательностей. Показано, что для обеспечения сжатия изображений необходимо проводить обработку компонент апертурного описания на базе интегрированного структурно подхода.

**Ключевые слова:** апертурная аппроксимация, динамическое управление параметрами апертур.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Проблемы функционирования современных информационных систем в значительной степени связаны с необходимостью решения противоречий, обусловленных дисбалансом между темпами роста объемов оцифрованных изображений и темпами повышения производительности вычислительных и телекоммуникационных технологий. Наиболее остро данный дисбаланс проявляется для систем дистанционного видеомониторинга. Здесь стоит вопрос о необходимости повышения разрешающей способности снимков, предоставляемых, в том числе, и с использованием бортовых комплексов. В то же время накладываются жесткие ограничения на: сложность реализации алгоритмов обработки, объемы передаваемых данных, время сеанса связи [1, 2]. Направление решения данного противоречия лежит в области использования для бортовых средств мониторинга технологий компрессии изображений. Однако в данном случае к ним выдвигаются требования относительно: обеспечения степени сжатия с контролируемой потерей качества реконструируемых изображений в рамках допустимой сложности реализации. Одним из таких подходов является сжатие изображений с предварительной их аппроксимацией апертурными [2 – 5]. В основе такого подхода лежит то, что достаточно широкий класс реалистических изображений обладает наличием закономерностей:

- структурного типа – ограниченным расстоянием  $\ell_\xi$  между соседними значимыми перепадами и их ограниченным количеством;

- статистического типа, а именно корреляционная зависимость между элементами видеопоследовательности;

- психовизуального типа – искажение изображений останется не заметным с позиции их восприятия зрительной системой.

Это позволяет аппроксимировать видеопоследовательности апертурными, т.е.  $x_{\xi, \gamma+r} = h_\xi$ ,  $r=0, \ell_\xi - 1$ ,

где  $h_\xi$  – аппроксимирующее значение для  $\xi$ -го участка изображения с ограниченным динамическим диапазоном. Под апертурой понимается участок изображения, значения элементов которого находятся в пределах ограниченного динамического диапазона, так, что выполняется условие

$$x_{\xi, \gamma+r} \in [b(\min)_\xi; b(\max)_\xi], \quad r=0, \ell_\xi - 1, \quad (1)$$

где  $\ell_\xi$  – длина  $\xi$ -го участка с ограниченным динамическим диапазоном.

Аппроксимация видеопоследовательности апертурой позволяет локализовать структурные, психовизуальные и статистические особенности изображения в пространственно-временной области. Соответственно процесс сокращения избыточности будет опираться на выявленные свойства, что реализуется в процессе кодирования.

### Анализ параметров апертурной аппроксимации изображений

Апертура содержит незначимые перепады яркости (цвета) в смысле заданного динамического диапазона  $b$ . Поскольку апертюра выявляется в кадре изображения, то она характеризуется двухкомпонентной системой координат (рис. 1) [5].

Первая компонента определяет позицию апертюры в кадре изображения. Для этого используется координата  $\xi$  начала (первого элемента) апертюры и ее длина  $\ell_\xi$ .

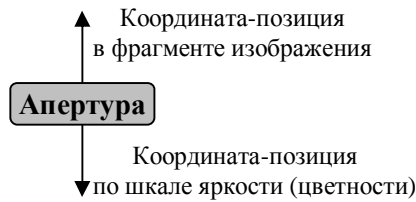


Рис. 1. Система координат апертуры

Координата начала апертуры определяется по первому (начальному) элементу  $x_{\xi, \gamma}$  апертуры, относительно которого осуществляется определение величин  $b(\min)_{\xi}$  и  $b(\max)_{\xi}$ . Длина  $\ell_{\xi}$  апертуры равна количеству подряд расположенных элементов, для которых выполняется условие  $x_{\xi, \gamma+r} \in [b(\min)_{\xi}; b(\max)_{\xi}]$ ,  $r=0, \ell_{\xi}-1$ , где:  $b(\max)_{\xi} = x_{\xi, \gamma} + b/2$ ;  $b(\min)_{\xi} = x_{\xi, \gamma} - b/2$ . Здесь  $b(\min)_{\xi}$ ,  $b(\max)_{\xi}$  – значения соответственно нижней и верхней границ ( $\xi$ )-й апертуры;  $b$  – высота апертуры.

Вторая координата позиционирует апертуру по шкале яркости (цветности) относительно предыдущих и последующих апертур. В качестве чего используется вектор  $P_a$  параметров аппроксимирующей функции (АФ).

### Анализ подходов относительно апертурной аппроксимации видеопоследовательностей

Подходы относительно организации устранения избыточности изображений на основе выявления апертур различаются в зависимости от функции, описывающей элементы, принадлежащие апертуре (АФ) [5]. Выбор подхода для описания апертур зависит от требований относительно потери качества восстанавливаемых изображений и времени на их обработку.

Первый подход обеспечивает исключение избыточности без внесения ошибок в процессе обработки и при наименьших временных затратах. Сокращается структурная и статистическая избыточность изображений. Устанавливаются наиболее жесткие ограничения на равенство всех элементов апертуры. Высота апертуры принимает значение  $b = 0$ . Генерирующая апертурная функция  $f_a(X^{(\xi)})$  строится при условии  $x_{\xi, \gamma} = x_{\xi, \gamma+1} = \dots = x_{\xi, \gamma+\ell_{\xi}-1}$ , и задается следующими параметрами:

$$f_a^{(1)}(X^{(\xi)}) \rightarrow \{x_{\xi, \gamma}; \ell_{\xi}\}.$$

Степень сжатия  $\eta_1$  определяется по формуле

$$\eta_1 = d Z_{lin} Z_{col} / D^{(1)} = d Z_{lin} Z_{col} / (D_x^{(1)} + D_{\ell}^{(1)}),$$

где  $D_x^{(1)}$ ,  $D_{\ell}^{(1)}$  – суммарные объемы цифрового представления соответственно для координат начального элемента апертур и для их длин

$$D_x^{(1)} = d v_a^{(1)}; \quad D_{\ell}^{(1)} = \sum_{\xi=1}^{v_a^{(1)}} \ell \log_2 \ell_{\xi}.$$

Здесь  $v_a^{(1)}$  – количество апертур, формируемых при условии равенства всех содержащихся в ней элементов;  $d$  – количество разрядов, затрачиваемое на представление одного элемента изображения.

Недостатком подхода является снижение степени компрессии в случае обработки реалистических насыщенных изображений, для которых свойственна ограниченность длины цепочек одинаковых элементов. Тогда  $D_x \approx d Z_{lin} Z_{col}$ , а  $\eta_1 = 1$ .

Второй подход относительно формирования АФ обеспечивает компрессию с внесением искажений (устраняется психовизуальная и статистическая избыточность). Выполняются условия

$$b \geq 1; \quad x'_{\xi, \gamma+r} \neq x_{\xi, \gamma+r}; \quad x'_{\xi, \gamma+r} \in \overline{X^{(\xi)}}, \quad r=0, \ell_{\xi}-1.$$

Здесь  $X^{(\xi)}$ ,  $\overline{X^{(\xi)}}$  – последовательности элементов, соответствующие исходной апертуре и апертуре, полученной на основе генерирующей функции  $f_a^{(2)}(X^{(\xi)})$ , т.е.  $\overline{X^{(\xi)}} = f_a^{(2)}(X^{(\xi)})$ ;  $x_{\xi, \gamma+r}$ ,  $x'_{\xi, \gamma+r}$  –  $(\gamma+r)$ -е элементы, принадлежащие соответственно последовательностям  $X^{(\xi)}$  и  $\overline{X^{(\xi)}}$ .

Сокращение избыточности обеспечивается в результате формирования параметров  $P_a$  генерирующей функции  $f_a^{(2)}(X^{(\xi)})$ ,  $f_a^{(2)}(X^{(\xi)}) \rightarrow P_a$ , занимающих меньший битовый объем  $D(P_a)$  относительно битового объема на представление элементов исходной апертуры  $D(X^{(\xi)})$ ,  $D(P_a) < D(X^{(\xi)})$ . Недостаток такого подхода заключается в том, что минимизация искажений изображения достигается ценой увеличения временных и аппаратных затрат на обработку.

Третий подход состоит в минимизации временных затрат в рамках второго подхода. Строится простейшая аппроксимирующая функция, как среднее значение  $\bar{x}_{\xi}$  по всем элементам апертуры, что задается следующим образом

$$f_a^{(2)}(X^{(\xi)}) = \bar{x}_{\xi}, \quad \bar{x}_{\xi} = \left( \sum_{r=0}^{\ell_{\xi}-1} x_{\xi, \gamma+r} \right) / \ell_{\xi}.$$

Достоинство подхода заключается в сокращении сложности процесса обработки изображений. Управление степенью вносимых искажений в процессе обработки изображений достигается на основе изменения величины высоты  $b$  апертуры. Степень компрессии  $\eta_2$  будет также зависеть от высоты апертуры  $b$ ,  $\eta_2 \sim b$ , и определяться по формуле

$$\eta_2 = d Z_{lin} Z_{col} / (D_x^{(2)} + D_{\ell}^{(2)}),$$

где  $D_x^{(2)}$ ,  $D_{\ell}^{(2)}$  – суммарные объемы цифрового

представления соответственно для координат начального элемента апертур и для их длин

$$D_x^{(2)} = d v_a^{(2)}; D_\ell^{(2)} = \sum_{\xi=1}^{v_a^{(2)}} \ell \log_2 \ell_\xi. \quad (2)$$

Здесь  $v_a^{(2)}$  – количество апертур для  $b > 1$ . Выигрыш по степени сжатия, т.е.  $\eta_2 > \eta_1$ , достигается за счет того, что сокращается количество апертур (СНП),  $v_a^{(2)} < v_a^{(1)}$ .

Недостаток подхода относительно формирования ФАГ связан с тем, что высота апертуры выбирается заранее. Это может привести к потере адаптивности относительно реального динамического диапазона обрабатываемого фрагмента изображения, особенно в условиях нестационарности структурных и статистических свойств. Откуда возможны следующие последствия, а именно когда реальный динамический диапазон:

а) будет значительно меньшим, чем выбранное заранее значение высоты апертуры, что приведет к появлению избыточного количества разрядов при формировании объема  $D_x^{(2)}$  и увеличению степени искажений изображения;

б) будет значительно выше, чем выбранная высота апертуры, что приведет к появлению большего количества апертур ограниченной длины, и, как следствие, к понижению коэффициента сжатия за счет увеличения величины  $v_a^{(2)}$ .

Поэтому требуется рассмотреть возможности снижение влияния данных недостатков на эффективность процесса сжатия.

### Способ динамического управления параметрами формирования апертур видеопоследовательностей

Для устранения таких последствий возможен вариант выбора заранее высокого значения высоты апертуры. Однако данное направление имеет следующие недостатки, а именно:

– приводит к увеличению объема  $D_x^{(2)}$  в случае описания апертуры по ФАГ, задаваемой выражением (2);

– снижается гибкость (робастность) к особенностям обрабатываемых фрагментов изображения, в том числе к их динамическим диапазонам. Проявляется эффект поглощения апертурой с большой высотой коротких апертур, имеющих относительно меньшие высоты.

Чтобы исключить недостатки, обусловленные выбором заранее фиксированного значения высоты апертуры, предлагается осуществлять динамический выбор значения высоты апертуры в зависимости от текущего значения длины апертуры.

Отсюда цель исследований заключается в соз-

дании метода динамического управления выбором параметров процесса апертурной аппроксимации.

Это позволяет подбирать значение высоты апертуры под реальный динамический диапазон обрабатываемого фрагмента. Реализация данного подхода организуется на основе построения процесса выявления апертур с обратной связью (рис. 2).



Рис. 2. Структурная схема выявления апертур с управляемым выбором ее высоты

За счет этого обеспечивается возможность для управления значением высоты апертуры в зависимости от ее длины. В случае уменьшения длины апертуры происходит увеличение ее высоты. И наоборот, если длина апертуры увеличивается, то возможно снизить значение ее высоты. В то же время, такое направление характеризуется недостатком, заключающимся в том, что в случае нестационарности изображений увеличивается количество формируемых значений высот апертур. Для уменьшения влияния повышающегося количества высот на коэффициент сжатия предлагается осуществлять выбор значение высоты апертуры кратной степени 2, т.е.  $b = 2^\alpha$ , где  $\alpha$  – индекс, указывающий на значение высоты апертуры.

Это позволяет перейти от описания самих значений высот к значениям степени двойки. Длина кодового представления высоты апертуры будет равна  $\alpha$  битам. Соответственно количество двоичных разрядов на представление апертуры снижается в  $(\lceil \log_2 b_{\max} \rceil + 1) / \alpha$  раз. Значения высот апертур и соответствующие им значения индексов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение индексов высот апертур

PSNR, дБ	48	42	36	30
b	2	4	8	16
$\alpha$	0	1	2	3
$\alpha'$	3	1	0	2

Выбор диапазона изменения высот апертур обусловлен необходимостью обеспечить контролируемый характер искажений в изображениях. В соответствии, с чем пиковое отношение сигнал/шум PSNR должно быть не меньше, чем 30 дБ. Здесь максимальные затраты на представления индекса высоты апертуры не будет превышать 2 бит.

В случае формирования индексации высот апертур с учетом свойств насыщенных изображений и обеспечения степени сжатия можно дополнитель-

но снизить затраты двоичных разрядов на представления величин  $\alpha$ . Для этого **предлагается** организовать переиндексацию учитывая вероятности появления значений высот апертур. Для высот апертур, имеющих наибольшую вероятность появления, формируются меньшие значения индекса. Тогда для большинства насыщенных смешанных изображений результаты переиндексации будут задаваться в виде данных, приведенных в нижней строке табл. 1.

Рассмотрим схему управления выбором высоты апертуры. Основным показателем для управления высотой апертуры является увеличение коэффициента сжатия. Значение коэффициента сжатия  $\eta_a$  для последовательности видеоданных, для которых формируется апертура, определяется по формуле

$$\eta_a = \frac{8 \ell_\xi}{[\log_2 h_\xi] + [\log_2 \ell_\xi] + \alpha + 2}, \quad (3)$$

где  $h_\xi$  – величина, аппроксимирующая элементы, принадлежащие апертуре (в соответствии с выбранным подходом последовательность элементов, принадлежащих апертуре, заменяется одним параметром).

Как следует из анализа выражения (3), в случае фиксированной величины  $h_\xi$  на коэффициент сжатия отдельной апертуры влияет значение ее длины. Чем больше длина апертуры, тем выше коэффициент сжатия. С другой стороны, длина апертуры прямо пропорционально зависит от высоты. Отсюда можно заключить, что для повышения коэффициента сжатия требуется увеличивать высоту апертуры в рамках допустимых значений пикового отношения сигнал/шум (табл. 1). Тогда процесс управления выбора значения высоты апертуры представляется следующими этапами (рис. 3):

1) выбирается наименьшее допустимое значение высоты  $b$  апертуры. Проводится оценка величины  $\eta_a$ ;

2) если коэффициент сжатия соответствует требуемому значению  $\eta'$ , т.е.  $\eta_a \geq \eta'$ , то осуществляется выявление апертуры для очередного фрагмента изображения. В противном случае осуществляется переход на третий этап;

3) проводится увеличение высоты апертуры из допустимого диапазона значений. После чего повторяется второй этап процесса управления.

Процесс выбора высоты апертуры заканчивается в двух случаях:

- выбора наибольшего допустимого значения высоты;
- выполнения условия  $\eta_a \geq \eta'$ .

Высота апертуры влияет не только на степень сжатия, но и на качество реконструируемых на приемной стороне изображений. Действительно, определяя ошибку аппроксимации  $\delta_{\xi,\gamma}$  как  $\delta_{\xi,\gamma} = x_{\xi,\gamma} - x'_{\xi,\gamma}$ , где  $x_{\xi,\gamma}$ ,  $x'_{\xi,\gamma}$  – значения соответственно исходного и восстановленного элементов,

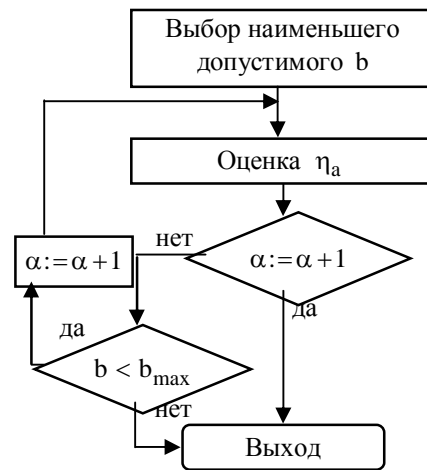


Рис. 3. Граф-схема управления высотой апертуры

заметим, что по условию формирования апертур выполняется неравенство  $b(\min)_\xi \leq x_{\xi,\gamma}; x'_{\xi,\gamma} \leq b(\max)_\xi$ . Откуда величина ошибки  $\delta_{\xi,\gamma}$  будет ограничена сверху значением высоты апертуры  $b$ ,  $\delta_{\xi,\gamma} \leq b$ . В то же время реальное значение ошибки  $\delta_{\xi,\gamma}$  для выбранного подхода построения АФ будет зависеть от аппроксимирующей величины. Если выбирать аппроксимирующую величину как значение начального элемента апертуры  $x_{\xi,\gamma}$ , то тогда не будет учитываться информация об остальных элементах. Это может привести к увеличению ошибки аппроксимации. Для исключения такого недостатка в качестве аппроксимирующей величины  $h_\xi$  выбирать взвешенное среднее по количеству раз появле-

ний элементов, т.е.  $h_\xi = (\sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi-1} x_{\xi,\gamma}) / \ell_\xi$ .

Поскольку влияние отклонения для каждого элемента апертуры равнозначно, то чем больше количество элементов в апертуре, имеющих определенные значения, тем меньше будет для них ошибка аппроксимации. Значит, среднеквадратическое отклонение по всем ошибкам аппроксимации будет снижаться. Это позволит повысить качество реконструируемых изображений. Таким образом, описание последовательности видеоданных  $X^{(\xi)}$ , для которых формируется апертура, задается следующим вектором  $P_a$ :

$$X^{(\xi)} = \{x_{\xi,\gamma}, \dots, x_{\xi,\gamma+r}, \dots, x_{\xi,\gamma+\ell_\xi-1}\} \rightarrow P_a \{h_\xi; b_\xi; \ell_\xi\}:$$

$$\begin{cases} x_{\xi,\gamma+r} \in [b(\min)_\xi; b(\max)_\xi], r=0, \ell_\xi-1; \\ h_\xi = (\sum_{\gamma=1}^{\ell_\xi-1} x_{\xi,\gamma}) / \ell_\xi; \\ \eta_a(b_\xi; \ell_\xi) \rightarrow \max; \\ \delta \leq \delta'. \end{cases}$$

Результирующая степень сжатия  $\eta$  фрагмента изображения будет определяться дальнейшей обработкой параметров апертурного описания. Предлагается обработку компонент апертурного описания осуществлять на базе интегрированного структурно-комбинаторной избыточности, обусловленной закономерностями в динамических диапазонах сформированных массивов. Это позволяет:

- 1) выявить закономерности интегрированного характера на основе апертурной информации фрагмента изображения, в том числе выявить новые структурные закономерности;
- 2) повысить количество сокращаемой избыточности за счет формирования кодовых комбинаций не для отдельных элементов, а для их последовательности;
- 3) учитывать особенности формирования типовых параметров аперттуры.

### Выводы

1. Показано, что обеспечение степени сжатия с контролируемой потерей качества реконструируемых изображений в рамках допустимой сложности реализации достигается на основе предварительной апертурной аппроксимации. Это позволяет локализовать структурные, психовизуальные и статистические особенности изображения в пространственно-временной области.

2. Для минимизации временных затрат строится простейшая аппроксимирующая функция, как среднее значение по всем элементам аперттуры. Однако показано, что это может привести к потере адаптивности относительно реального динамического диапазона обрабатываемого фрагмента изображения.

3. Строится динамический метод управления вы-

бором параметров апертурной аппроксимации видео-последовательностей. Проводится переиндексация высот аперттур, учитывая вероятности их появления. Это исключает недостатки, обусловленные выбором заранее фиксированного значения высоты аперттуры.

4. Для обеспечения сжатия изображений обоснована необходимость проводить обработку компонент апертурного описания на базе интегрированного структурно-комбинаторного подхода. Это позволяет:

- выявить закономерности интегрированного характера на основе апертурной информации фрагмента изображения, в том числе выявить новые структурные закономерности;
- повысить количество сокращаемой избыточности за счет формирования кодовых комбинаций не для отдельных элементов, а для их последовательности;
- учитывать особенности формирования типовых параметров аперттуры.

### Список литературы

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети / Дж. Уолрэнд. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х.: ХУПС, 2009. – 252 с.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1073 с.
4. Баранник В.В. Метод сжатия цветowych координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве / В.В. Баранник, П.Н. Гуржий // Моделирование та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ, НАНУ.– 2005. – Вип. 33. – С. 220-223.
5. Баранник В.В. Модель оценки информативности структурного описания координат вершин сплайнов нулевого порядка / В.В. Баранник, А.П. Скрынык, Н.А. Королева // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НіЗ», 2010. – Вип. 4(16). – С. 59-63.

Поступила в редколлегию 30.11.2011

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

### МЕТОД ДИНАМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ АПЕРТУРНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ ВІДЕОПОСЛІДОВНОСТЕЙ

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

*Обґрунтовано, що забезпечення ступеня стиснення з контрольованою втратою якості зображень, які реконструюються, в рамках допустимої складності реалізації досягається на основі їх попередньої апертурної апроксимації. Це дозволяє локалізувати структурні, психовізуальні і статистичні особливості зображення в просторово-часовій області. Викладаються основні етапи і переваги методу динамічного управління вибором параметрів апроксимації відеопослідовностей. Показано, що для забезпечення стиснення зображень необхідно проводити обробку компонент апертурного опису на базі інтегрованого структурно підходу.*

**Ключові слова:** апертурна апроксимація, динамічне управління параметрами аперттур.

### METHOD OF DYNAMIC MANAGEMENT PARAMETERS IS AN APERTURE OF APPROXIMATION OF VIDEOSEQUENCES

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

*It is grounded, that providing of degree of compression with the controlled loss of quality of the reconstructed images within the framework of possible complication of realization is arrived at on the basis of their preliminary aperture of approximation. It allows to localize the structural, visually and statistical features of image in a spatio-temporal area. The basic stages and advantages of method of dynamic management the choice of parameters of approximation of video of sequences are expounded. It is rotined that for providing of compression of images it is necessary to conduct treatment component aperture of description on the base of computer-integrated structurally approach.*

**Keywords:** aperture is approximation, dynamic management the parameters of apertures.