

УДК 621.327:681.5

Д.С. Кальченко

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков;*

## **ОБОСНОВАНИЕ БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОМПРЕССИИ БЕЗ ПОТЕРИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АПЕРТУРНОГО ОПИСАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Обосновано, что организация представления изображений с предварительным выявлением серий, основанное на методе полиадического кодирования имеет недостатки, обусловленные: заменой последовательности одинаковых элементов ее длиной; формированием серии для последовательности элементов, имеющих только равные значения. Показано, что для повышения производительности инфокоммуникационных систем относительно обработки и передачи видеоданных допускается использовать структурно-комбинаторный подход с учетом описания фрагментов изображений на основе выявления апертур равномерной длины с полным сохранением их информационного содержания.*

**Ключевые слова:** *производительность инфокоммуникационных систем, структурно-комбинаторное кодирование.*

### **Введение**

#### **Постановка проблемы и анализ литературы.**

Создание сетей следующего поколения связано с предоставлением мультисервисных услуг. Наиболее высокие требования относительно оперативности доставки, скорости передачи и времени задержки предъявляются к телекоммуникационным технологиям со стороны служб, предоставляющих видеoinформационные услуги [1]. Несмотря на развитие вычислительных и телекоммуникационных технологий, темпы роста производительности инфокоммуникационных систем (ИКС) не адекватны темпам увеличения объемов видеoinформации. Значит, повышение производительности и оперативности доставки видеоданных в ИКС является актуальным направлением исследований. Объем информационного потока достигает порядка 10 Гбит/с. Это обусловлено увеличением размеров кадров, а также их частотой, повышением разрядности элемента изображения. Особенно остро эта проблема проявляется при обработке изображений с полным сохранением информационного содержания. Основное влияние на битовую скорость видеoinформационного потока и на его качество с позиции восприятия потребителями достигается на этапе кодирования источника.

Проведенный анализ характеристик существующих методов сжатия в режиме сжатия без потери информации выявил, что они не обеспечивают требований относительно времени доставки изображений различных сервисов с использованием современных ИКС [1 – 3]. Особенно критично это проявляется в условиях: обработки насыщенных реалистических изображений; низкоскоростных телекоммуникационных технологий; высокоскоростных ИКС, но с ограниченными характеристиками технологий цифровой обработки.

### **Основной материал**

Существующие методы компактного представления с полным сохранением информационного со-

держания обрабатываемых изображений являются комплексными [4, 5]. Процесс компактного представления осуществляется на двух основных этапах, а именно: предварительное преобразование исходных видеоданных и собственно компрессионное кодирование, обеспечивающее сокращение избыточности.

Предварительное преобразование используется для получения такой формы исходных видеоданных, для которой повышаются потенциальные возможности относительно сокращения наибольшего количества избыточности. Эффективность предварительного преобразования зависит от свойств изображений, а именно от степени корреляции, двумерной когерентности фрагментов, частоты цветового перепада, величины диапазона цветового перепада на границах контуров и мелких объектов.

Проведенный анализ существующих подходов относительно предварительной обработки исходных видеоданных в режиме сжатия без потери информации позволяет заключить, что они связаны с такими недостатками как [4, 5]:

- появление накапливаемых потерь информации за счет ошибок округления, происходящих при выполнении ортогональных преобразований (ОП) и нормировки на передающей стороне;

- увеличение динамического диапазона преобразованных данных относительно исходного изображения в случае выполнения целочисленных ортогональных преобразований, таких, например, как дискретное преобразование Уолша (ДПУ), дискретное преобразование Хаара (ДПХ) и проведение нормировки на приемной стороне;

- то, что в процессе выполнения ОП, ДИКМ и преобразования к двоичному представлению (ПДП) не учитываются возможности выявления многосвязных структурных закономерностей;

- формирование в результате двоичного представления в случае обработки высокоинформативных изображений таких двоичных структур, которые характеризуются большим количеством двоич-

ных серий, дальнейшая обработка которых является затруднительной;

– значительные временные затраты на обработку в случае использования ОП, перевода в двоичное представление, сложных функционалов для предсказания в системах ДИКМ. На выполнение ортогональных преобразований и преобразований, связанных с формированием двоичного представления, затрачивается дополнительное время на обработку, достигающее 70% от суммарного времени на процесс сжатия;

– неэффективность ДИКМ в случае использования для обработки насыщенных реалистических изображений;

– превышение первоначального объема с учетом дополнительных затрат разрядов на представление информации о знаках преобразованных элементов для варианта обработки высокоинформативных изображений.

Альтернативное направление проведения предварительных преобразований исходных данных в режиме без потери информации заключается в выявлении длин серий одинаковых элементов [5]. Суть такого подхода заключается в описании изображения последовательностью цепочек элементов одинакового цвета (яркости). Высота апертуры принимает значение  $D = 0$ . Генерирующая функция  $f_a(X^{(\xi)})$  строится при условии  $x_{\xi,\gamma} = x_{\xi,\gamma+1} = \dots = x_{\xi,\gamma+r_\xi-1}$ , и задается, как  $f_a(X^{(\xi)}) \rightarrow \{x_{\xi,\gamma}; r_\xi\}$ . Степень сжатия определяется по формуле  $\eta_2 = bQ_{lin} Q_{col} / (V_x^{(2)} + V_r^{(2)})$ . Здесь  $V_x^{(2)}$ ,  $V_r^{(2)}$  – суммарные объемы цифрового представления соответственно для координат вершин апертур и для их длин.

Это позволяет, используя ограниченное количество вычислений:

– выявить структурные закономерности, обусловленные наличием областей одного цвета (яркости), что создает потенциальные возможности для устранения структурных видов избыточности изображений и повышения степени сжатия;

– сократить время на дальнейшее компрессионное кодирование в результате снижения количества обрабатываемых данных (перехода от описания последовательностей элементов к их длинам).

В то же время существующие подходы относительно компрессионного кодирования длин серий и их цветовых координат базируются в основном на формировании статистических кодов.

Это приводит к наличию следующих недостатков, а именно [6]:

– в случае обработки фрагментов изображений, характеризующихся высокой интенсивностью смены статистической модели и мультимодальностью распределения, уменьшаются длины серий, и, как следствие, происходит резкое снижение степени сжатия, вплоть до увеличения первоначального объема. Тогда  $V_x \approx bQ_{lin} Q_{col}$ , а  $\eta_2 = 1$ ;

– в результате неравномерного префиксного кодирования длин структурных составляющих изображений происходит дополнительное снижение помехоустойчивости кодов к ошибкам в канале связи;

– формируются неравномерные кодовые комбинации с неконтролируемой длиной. Это приводит к: необходимости использования разделителей, что дополнительно уменьшает степень сжатия; необходимости использования задержек в процессе буферизации и пакетирования неравномерных кодов;

– требование относительно префиксности кодов приводит к увеличению длины кодов;

– проводится в основном независимая поэлементная обработка, т.е. не учитывается то, что наибольшее количество избыточности устраняется в случае блочной обработки.

Для выхода из такой ситуации разрабатывается сравнительно новый подход, организуемый на структурно-комбинаторном представлении. Он, в отличие от существующих, позволяет:

1) учитывать в процессе сжатия виды избыточности, обусловленные статистическими, структурными и психовизуальными закономерностями;

2) формировать кодовые конструкции равномерной и неравномерной длины как для фиксированного, так и для плавающего (переменного) количества обрабатываемых элементов;

3) осуществлять устранение избыточности на основе интегрирования нескольких закономерностей, выявляемых в фрагментах данных.

### Обоснование подхода для сохранения полной информации об апертуре

Развитие данного направления базируется на работах [4, 5]. Организация структурно-комбинаторного представления изображений с предварительным выявлением длин серий основывается на методе полиадического кодирования (ПКДК). В этом случае проводится формирование кодов-номеров для массивов длин серий и массивов цветовых координат, которые рассматриваются как двумерные полиадические числа. Метод ПКДК основан на сокращении избыточности в массивах длин серий и массивах цветовых (яркостных) координат, обусловленной ограниченным и/или неравномерным динамическим диапазоном их элементов. Основные достоинства такого подхода состоят в том, что:

– осуществляется исключение избыточности на основе выявления интегрированных закономерностей в массивах данных;

– обеспечивается частичная компенсация недостатков, вызванных наличием большого количества коротких длин серий для высокоинформативных изображений;

– позволяет сокращать избыточность даже в случае равномерного распределения длин серий и цветовых координат;

– исключает варианты увеличения исходного объема видеоданных.

Метод ПКДК забезпечує стиснення реалістических зображень з повним збереженням їх інформаційного вмісту. В той же час метод має недоліки, зумовлені [4, 5]:

а) заміною послідовності однакових елементів її довжини. Довжини рядків є нерівномірними структурними складовими, несуттєвими основну інформацію про зображення. Іскаження такої інформації призводить до появи значущих безповоротних пошкоджень. Тому потенційно такий підхід має низьку стійкість до помилок в каналі зв'язу та втрати пакетів в процесі їх обробки в ТКС;

б) формуванням рядка для послідовності елементів, які мають тільки рівні значення. В той же час, як довжина послідовності може збільшитися в разі врахування елементів, значення яких мають незначущі відхилення;

в) збільшенням кількості кодуваних елементів в разі підвищення ймовірності появи кольорових (яскравих) перепадів;

г) зростом динамічного діапазону кольорових координат рядків, що призводить до різкого зниження коефіцієнта стиснення (до одиничного значення).

Це призводить до обмеженого застосування методу ПКДК для стиснення високоінформативних насичених реалістических зображень для їх доставки з використанням низькоскоростних ТКС з обмеженим об'ємом буфера в умовах складної помехової обстановки. Одним з напрямків виходу з такої ситуації є опис фрагментів зображень на основі виявлення апертур. Відмінність тут полягає в тому, що апертура містить не тільки рівні між собою елементи, але і елементи, які відрізняються незначущо. Допуск на діапазон відхилення значень елементів апертури визначається її висотою. Під апертурою розуміється ділянка зображення, значення елементів якої знаходяться в межах обмеженого динамічного діапазону. Характеристиками апертури є:

– висота  $D$  апертури, визначається як різниця між верхнім  $\ell_{\xi}^{(max)}$  і нижнім  $\ell_{\xi}^{(min)}$  значеннями динамічного діапазону;

– довжина  $r_{\xi}$  апертури, визначається як кількість поруч розташованих елементів, для яких виконується умова  $x_{\xi, \gamma+\tau} \in [\ell_{\xi}^{(min)}; \ell_{\xi}^{(max)}]$ ,  $\tau=0, r_{\xi}-1$ ;

– початковий елемент  $x_{\xi, \gamma}$  апертури або координата вершини апертури, відносно якої здійснюється визначення величин  $\ell_{\xi}^{(min)}$  і  $\ell_{\xi}^{(max)}$ ;

– послідовність елементів зображення  $X^{(\xi)}$ , належачих апертурі, де  $X^{(\xi)} = \{x_{\xi, \gamma}, \dots, x_{\xi, \gamma+r_{\xi}}\}$ ,  $x_{\xi, \gamma+\tau} \in [\ell_{\xi}^{(min)}; \ell_{\xi}^{(max)}]$ ,  $\tau=0, r_{\xi}-1$ .

Попереднє описання зображень на основі виявлення апертур відносно формування

рядків дозволяє:

– збільшити довжину послідовності, для якої виявляються апертурні закономірності;

– врахувати когерентність областей зображень, що підвищує потенційні можливості відносно виключення статистическої надлишковості;

– перейти від описання послідовності елементів її довжини до описання – на основі частинного збереження інформації про її вміст в формі коефіцієнтів апроксимуючих функцій.

Підходи відносно організації усунення надлишковості зображень на основі виявлення апертур відрізняються в залежності від функції описуючої елементи, належачих апертурі (генеруючої апертурної функції (ФАП)). Існуючі підходи відносно формування і кодового представлення апертур мають два суттєві недоліки, а саме:

1. Формування апертур, як правило, організується в режимі заздалегідь заданої висоти, і, відповідно, нерівномірної довжини. Залежність нерівномірної довжини апертури від ступеня когерентності фрагментів зображень призводить до: зниження стійкості до помилок; збільшенню часу на стиснення в разі обробки високонасичених реалістических зображень; зменшенню ступеня стиснення для зображень з високою концентрацією різких змінень кольору (яскравості), зумовлене скороченням довжин апертур і збільшенням значень їх висот.

2. Обробка апертур базується на методах з безповоротної втратою інформації. Наприклад, описання апертури її довжиною, описання апертури коефіцієнтами апроксимуючої функції.

Ступінь стиснення  $k_{comp}$  буде залежати від ступеня вносимих іскажень  $\sigma$  і довжини апертури  $r$ , а саме:  $k_{comp} \sim r$  і  $r \sim \sigma$ . Залежність ступеня стиснення від вносимих іскажень для методу на основі виявлення апертур, наведено на рис. 1. Аналіз даних на рис. 1 показує, що ступінь стиснення знаходиться в суттєвій залежності від кількості вносимих похибок. Найбільші значення ступеня стиснення (на рівні 20 раз) досягаються для величин ОСШ не перевищує 20 дБ. Це відповідає режиму обробки з внесенням суттєвих втрат інформації. При збільшенні величини ОСШ на рівень 50 дБ ступінь стиснення не перевищує 1,7 раз. Це не дозволяє використовувати апертурне представлення зображень в режимі без втрати інформації. Відсутність в існуючих теоретических основах (базируючих на статистическій теорії інформації) підходу, забезпечуючого стиснення апертур фіксованої довжини, і зберігаючого повне її інформаційне вміст, зумовлено наступними причинами:

1) організувати обробку апертур в режимі без втрати інформації на основі відомих методів побудови статистических компресійних кодів не представляється можливим. І дійсно, в

выявление апертур не связано с неравномерностью распределения вероятностей появления элементов, а связано с корреляционными характеристиками;

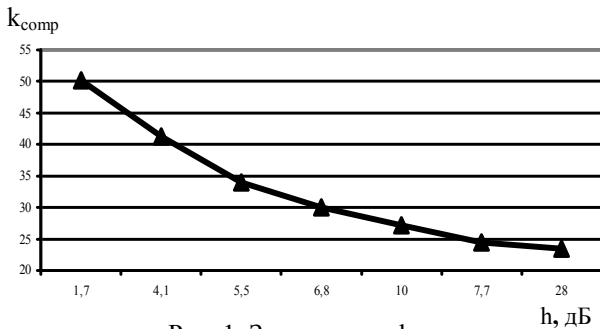


Рис. 1. Зависимость  $k_{comp}$  от  $h$  для реалистических изображений

2) не существует механизмов компенсации в случаях:

– резкого увеличения высоты апертуры, что приводит к снижению степени сжатия, т.е.

$D \sim 1/k_{comp}$  и для  $D \rightarrow 2^b$  получим  $k_{comp} \rightarrow 1$ ;

– несоответствия выбранной заранее длины апертуры с реальной для обрабатываемых изображений характеристикой когерентности (размеры областей с незначительным плавным изменением цвета (яркости)), т.е.  $k(r \neq r_{cov})_{comp} < k(r = r_{cov})_{comp}$ , где  $k(r = r_{cov})_{comp}$  – коэффициент сжатия в случае, когда выбранная длина  $r$  апертуры соответствует реальной длине апертуры с учетом условия когерентности  $r_{cov}$ ;  $k(r \neq r_{cov})_{comp}$  – коэффициент сжатия в случае несоответствия длин апертур.

Поэтому обработку апертурного описания изображений предлагается организовывать на основе структурно-комбинаторного подхода. Здесь одно из направлений обеспечивается на основе дальнейшего развития полиадических систем в области создания компрессионных кодовых конструкций для представления апертур.

Предлагается разработать структурно-комбинаторное представление апертур равномерной длины с сохранением их информационного содержания для повышения производительности ИКС относительно обработки и передачи видеоданных.

Особенность аппроксимации на основе структурно-комбинаторного подхода заключается в том, что вся последовательность  $X^{(\xi)}$ , состоящая из  $r$  элементов, заменяется ее кодом-номером  $C_r^{(\xi)}$  в допустимом множестве  $\Psi_r$ . Определим объем множества  $\Psi_r$  как  $W_r$ . Тогда последовательность  $X^{(\xi)} = \{x_{\xi, \gamma}, x_{\xi, \gamma+1}, \dots, x_{\xi, \gamma+r\xi}\}$  принадлежит множеству  $W_r$ , т.е.  $X^{(\xi)} \in W_r$ , если выполняются ограничения  $x_{\xi, \gamma+\tau} \in [\ell_{\xi}^{(min)}, \ell_{\xi}^{(max)}]$   $\tau = \overline{0, r\xi - 1}$ . Тогда

представление апертуры на основе структурно-комбинаторного подхода без потери информации будет иметь следующий математический вид:

$$C_r^{(\xi)} = f_a(X^{(\xi)}; D; r) | x_{\xi, \tau} \in [\ell_{\xi}^{(min)}, \ell_{\xi}^{(max)}]$$

$$\& \ell_{\xi}^{(min)} \neq \ell_{\xi}^{(max)} \& x'_{\xi, \tau} = x_{\xi, \tau}, \tau = \overline{0, r\xi - 1},$$

где  $x_{\xi, \tau}$ ,  $x'_{\xi, \tau}$  – ( $\tau$ )-е элементы, принадлежащие исходной и восстановленной апертуре.

## Выводы

1. Обосновано, что организация структурно-комбинаторного представления изображений с предварительным выявлением длин серий, основанное на методе ПКДК имеет недостатки, обусловленные: заменой последовательности одинаковых элементов ее длиной; формированием серии для последовательности элементов, имеющих только равные значения. Это приводит к ограниченному применению метода для сжатия высокоинформативных насыщенных изображений, для их доставки с использованием низкоскоростных ИКС в условиях сложной помеховой обстановки.

2. Для повышения производительности ИКС относительно обработки и передачи видеоданных обоснован выбор в качестве базового подхода – структурно-комбинаторный подход с учетом описания фрагментов изображений на основе выявления апертур. Здесь одно из направлений обеспечивается на основе дальнейшего развития полиадических систем в области создания компрессионных кодовых конструкций для представления апертур равномерной длины с полным сохранением их информационного содержания.

## Список литературы

1. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.] // Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3-40.
2. Ахмед Н. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Н. Ахмед, К.Р. Рао; пер. с англ. под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
3. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
4. Королев А.В. Метод комплексной обработки изображений / А.В. Королев, В.В. Баранник // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 5. – С. 10-17.
5. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х.: ХУПС, 2009. – 252 с.
6. 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. – № 4(16). – С. 59-63.

Поступила в редколлегию 20.09.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Баранник, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

**ОБГРУНТУВАННЯ БАЗОВОЇ ТЕХНОЛОГІ КОМПРЕСІЇ БЕЗ ВТРАТИ ІНФОРМАЦІЇ  
З ВИКОРИСТАННЯМ АПЕРТУРНОГО ОПИСУ ЗОБРАЖЕНЬ**

Д.С. Кальченко

*Обґрунтовано, що організація представлення зображень з попереднім виявленням серій, засноване на методі поліадичного кодування має недоліки, обумовлені: заміною послідовності однакових елементів її довжиною; формуванням серії для послідовності елементів, що мають тільки рівні значення. Показано, що для підвищення продуктивності інфокомунікаційних систем щодо обробки і передачі відеоданих допускається використовувати структурно-комбінаторний підхід з врахуванням опису фрагментів зображень на основі виявлення апертур рівномірної довжини з повним збереженням їх інформаційного змісту.*

**Ключові слова:** продуктивність інфокомунікаційних систем, структурно-комбінаторне кодування.

**GROUND BASE TECHNOLOGISTS OF COMPRESSION WITHOUT THE LOSS OF INFORMATION  
WITH THE USE APERTURE OF DESCRIPTION OF IMAGES**

D.S. Kalchenko

*It is grounded, that organization of presentation of images with the preliminary exposure of cerouss, based on the method of the polyadical encoding has failings, conditioned: by replacement the sequence of identical elements by its length; forming of series for the sequence of elements, having equal values only. It is rotined that for the increase of the productivity of the infocommunication systems in relation to treatment and transmission of videoinformation it is assumed to utilize structure-combinatory approach taking into account description of fragments of images on the basis of exposure of apertures of even length with the complete maintainance of their informative maintenance.*

**Keywords:** productivity of the infocommunication systems, structure-combinatory encoding.