

# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановленной информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;
- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j = 0,5(i + 1)$ , и изменяется в диапазоне  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата

кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

*Таблица 2*

*Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$*

| Диапазон $\gamma$ значения величины $g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$ служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|---|--|
| 0   | 010   | 3  |
| 1   | 011   | 4  |
| 2   | 100   | 5  |
| 3   | 00  | 5  |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) \quad [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) \quad K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) \quad K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) \quad K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

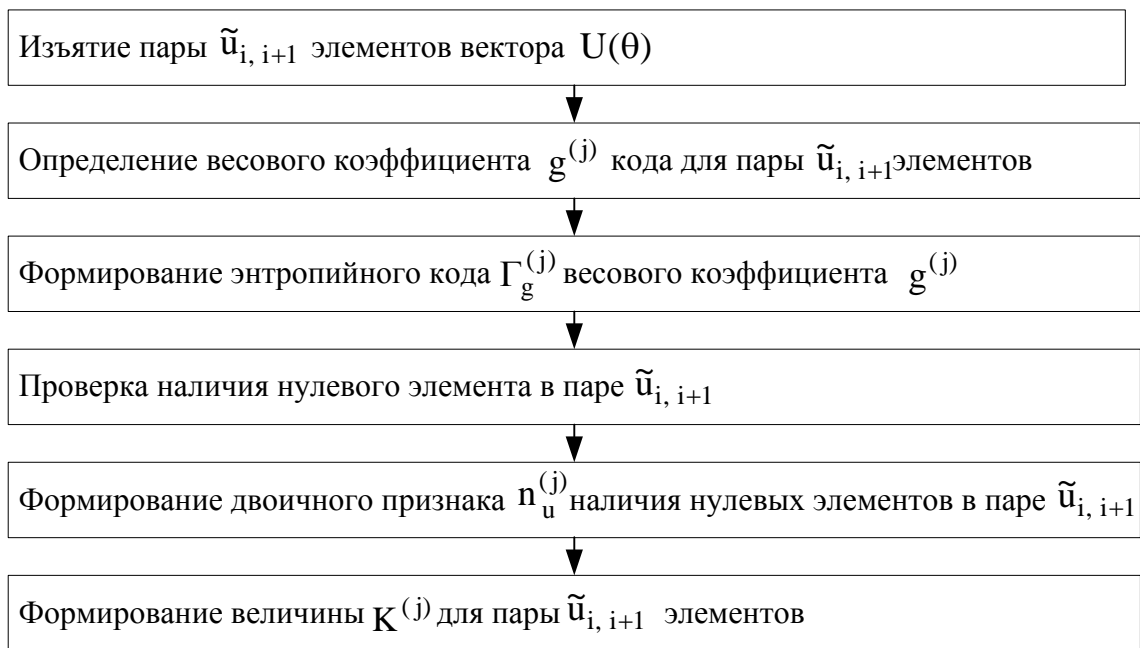
$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.



*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

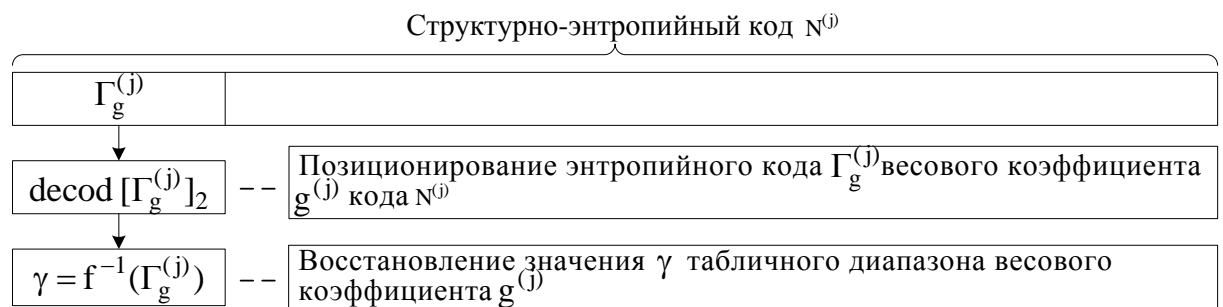


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

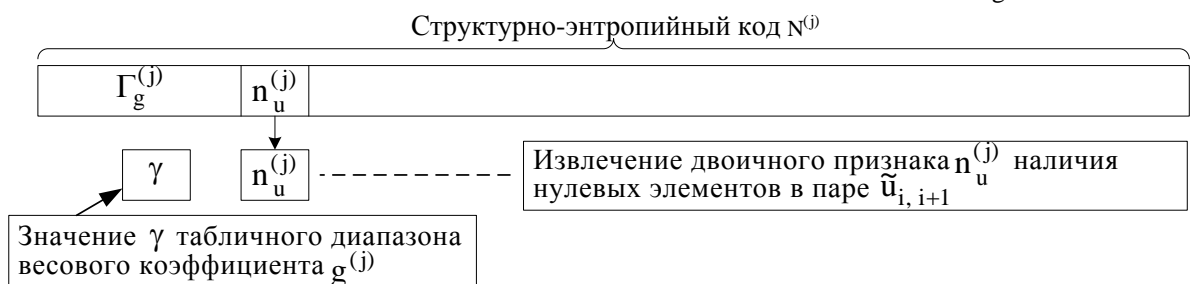




Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

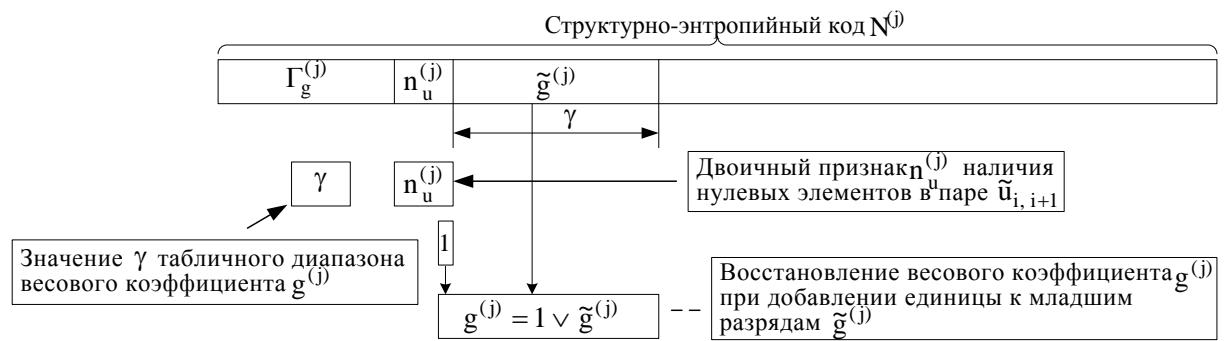


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

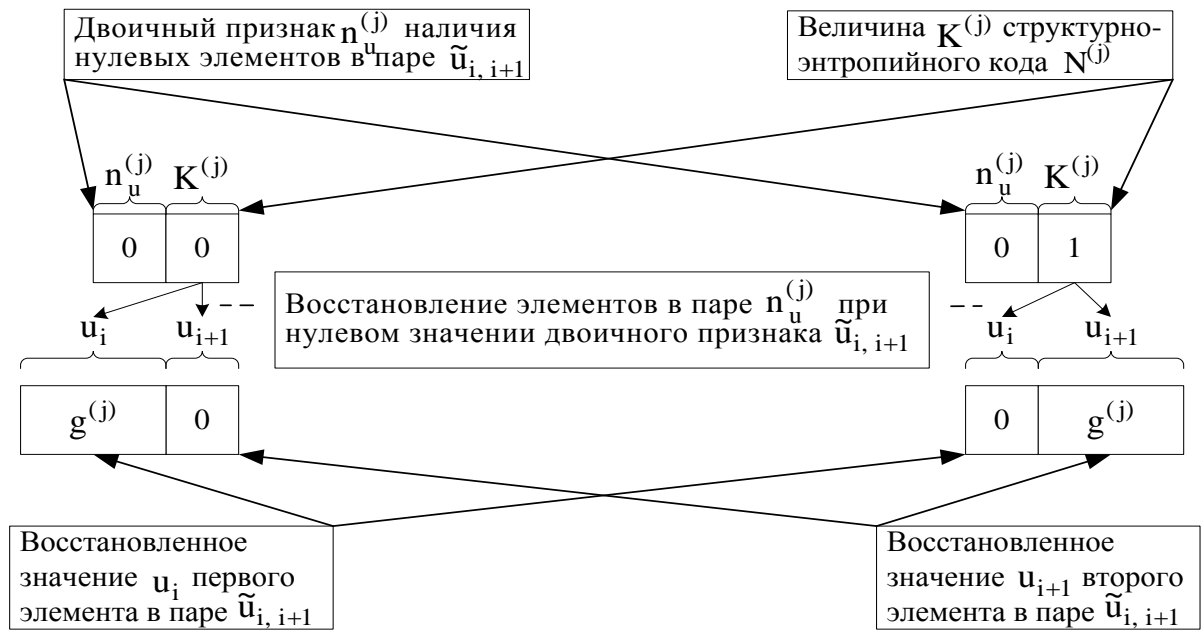


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

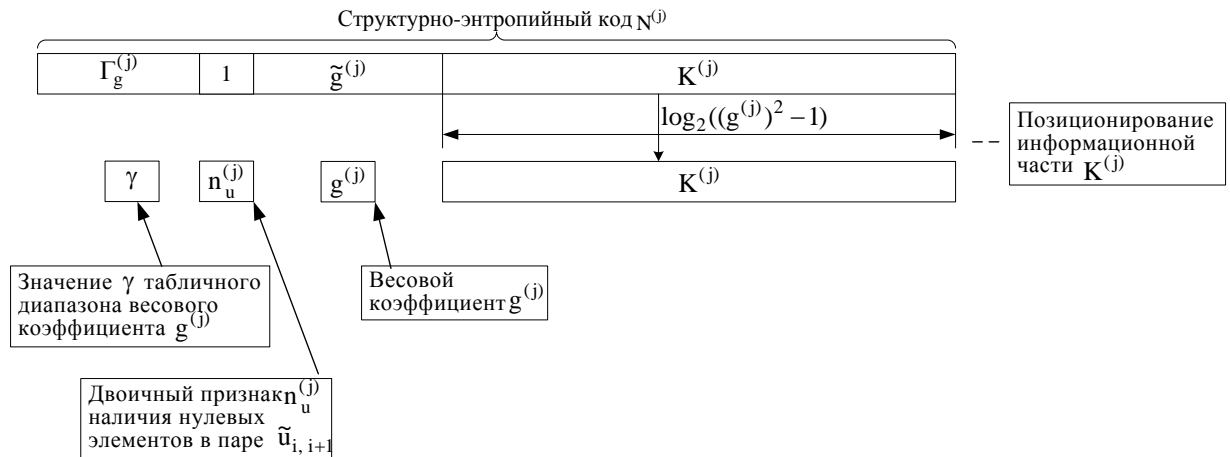


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$

В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризованной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного

изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

### **Литература**

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В, Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.

# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановленной информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;
- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j=0,5(i+1)$ , и изменяется в диапазоне  $j=\overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .



Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата

кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

*Таблица 2*

*Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$*

| Диапазон $\gamma$ значения величины $g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$ служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|---|--|
| 0   | 010   | 3  |
| 1   | 011   | 4  |
| 2   | 100   | 5  |
| 3   | 00  | 5  |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

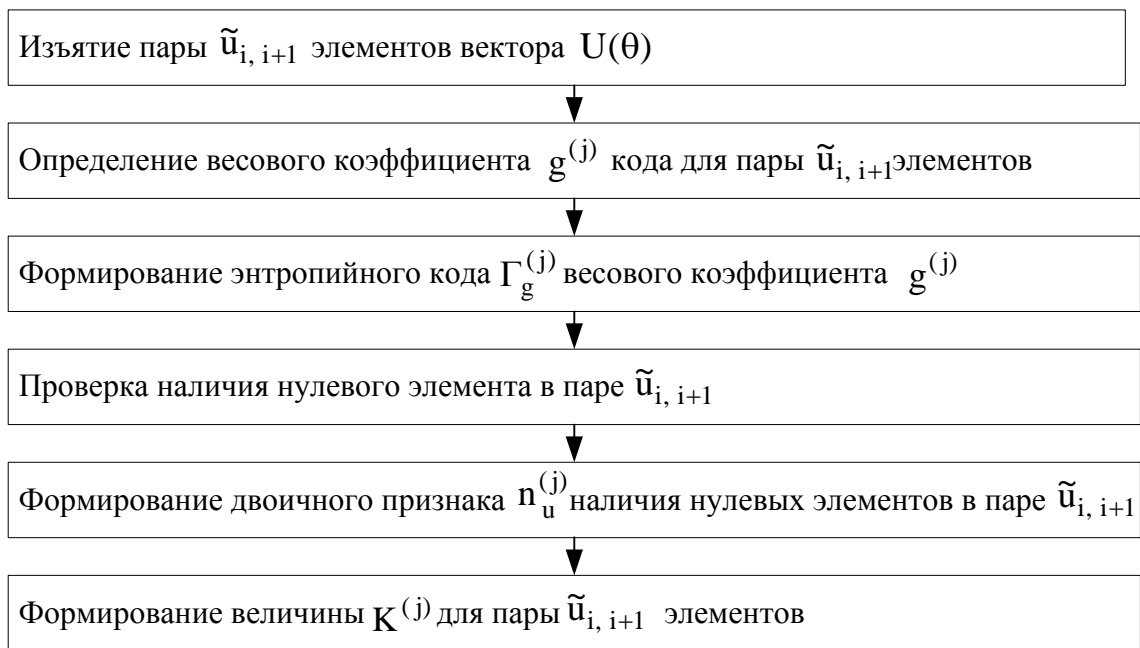
$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.



*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

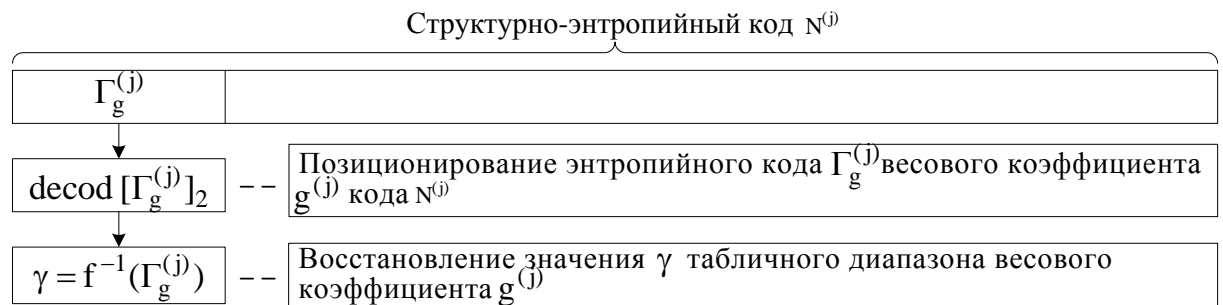


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

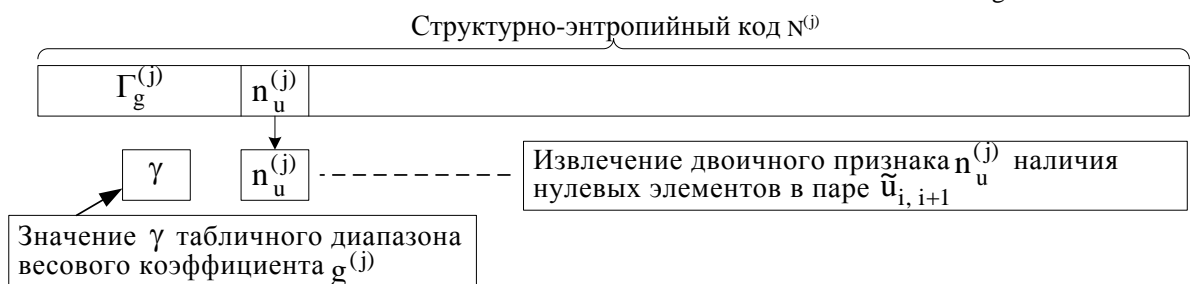


Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

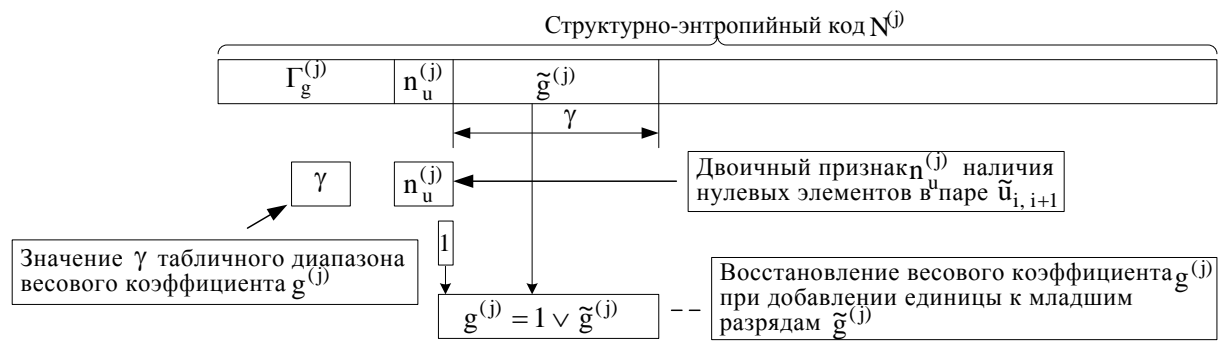


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

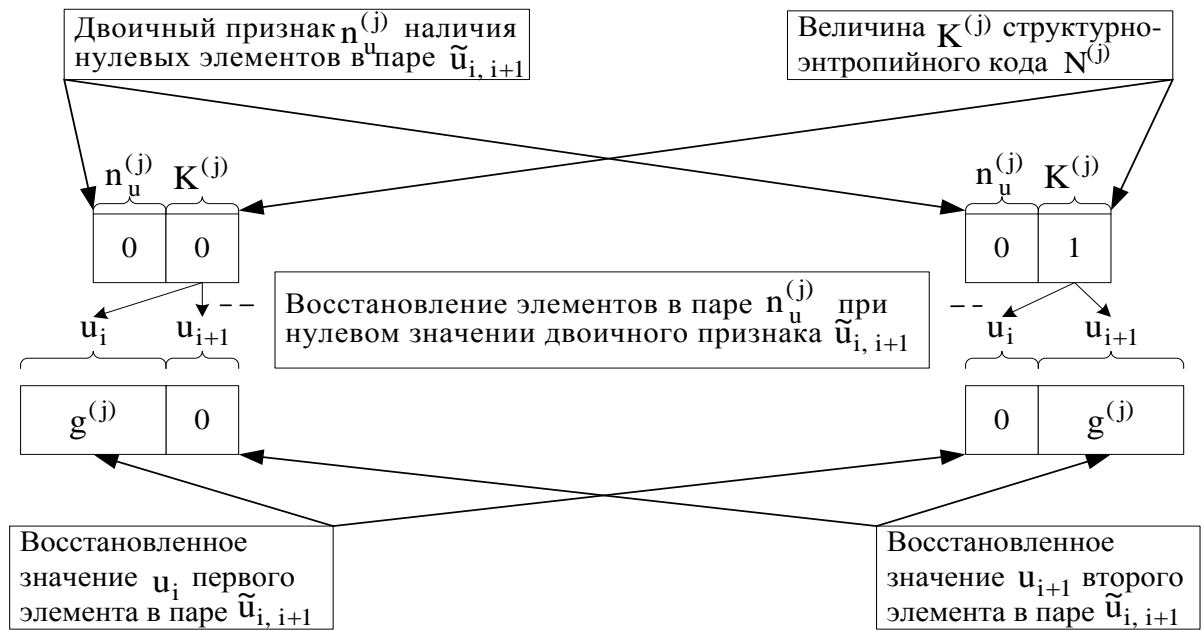


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

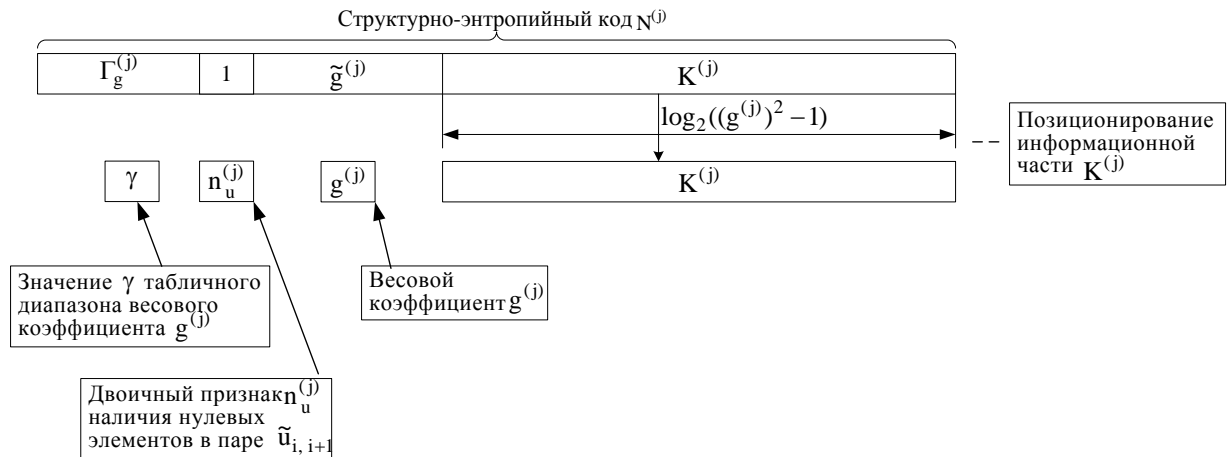


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$



В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного

изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

### **Литература**

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В, Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.

# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановленной информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;
- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j=0,5(i+1)$ , и изменяется в диапазоне  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата



кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

Таблица 2

Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$

| Диапазон $\gamma$ значения величины $g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$ служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|---|--|
| 0   | 010   | 3  |
| 1   | 011   | 4  |
| 2   | 100   | 5  |
| 3   | 00  | 5  |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) \quad [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) \quad K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) \quad K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) \quad K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

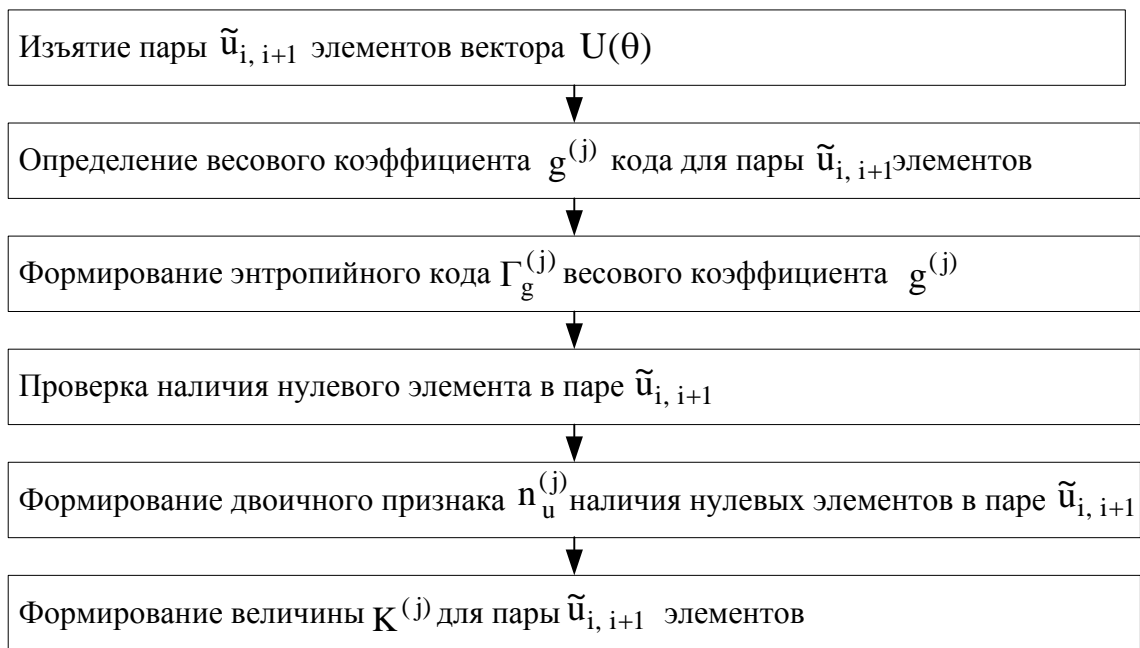
$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.



*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

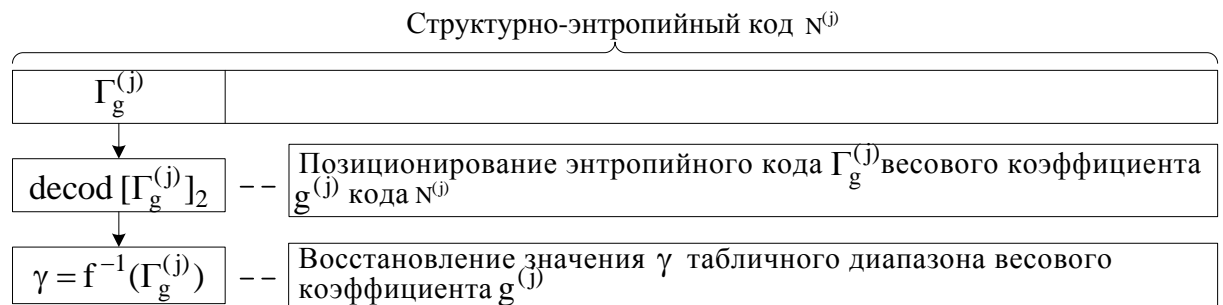


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

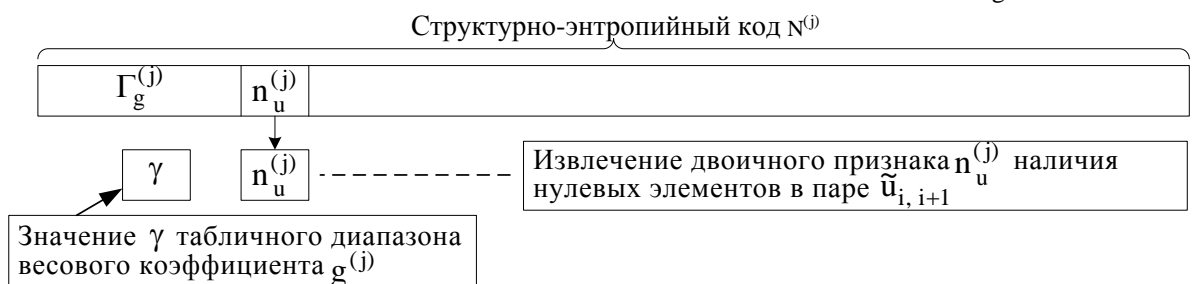


Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

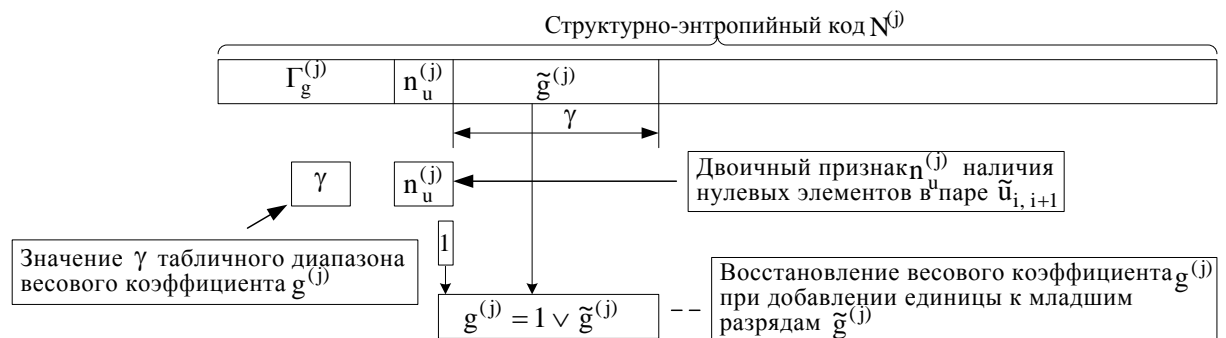


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

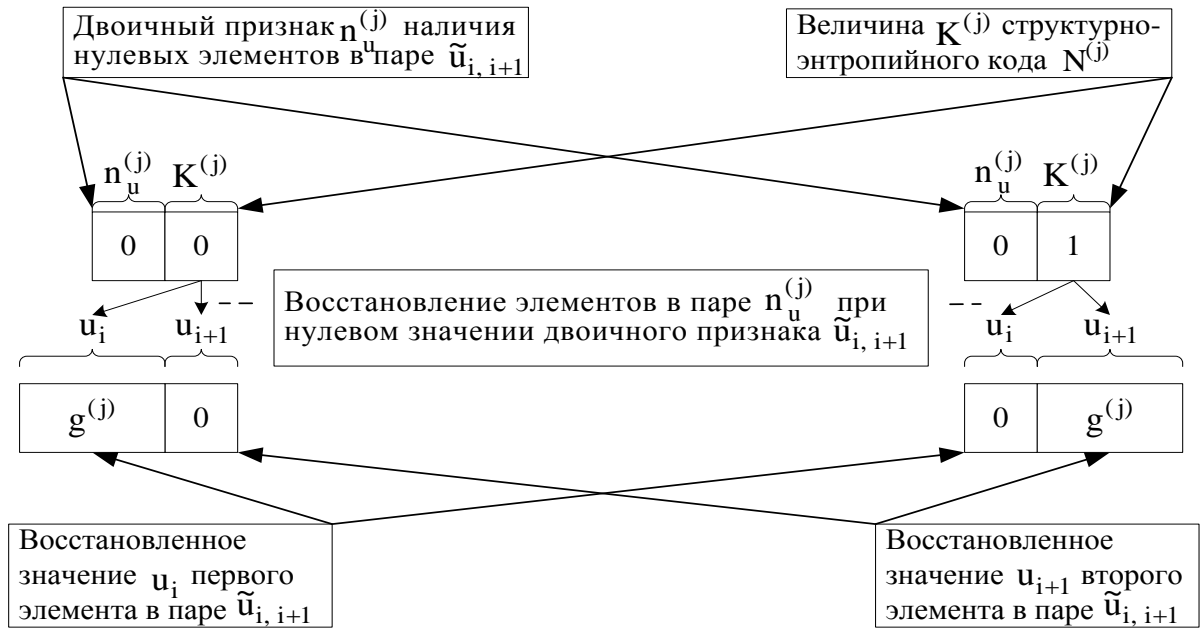


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

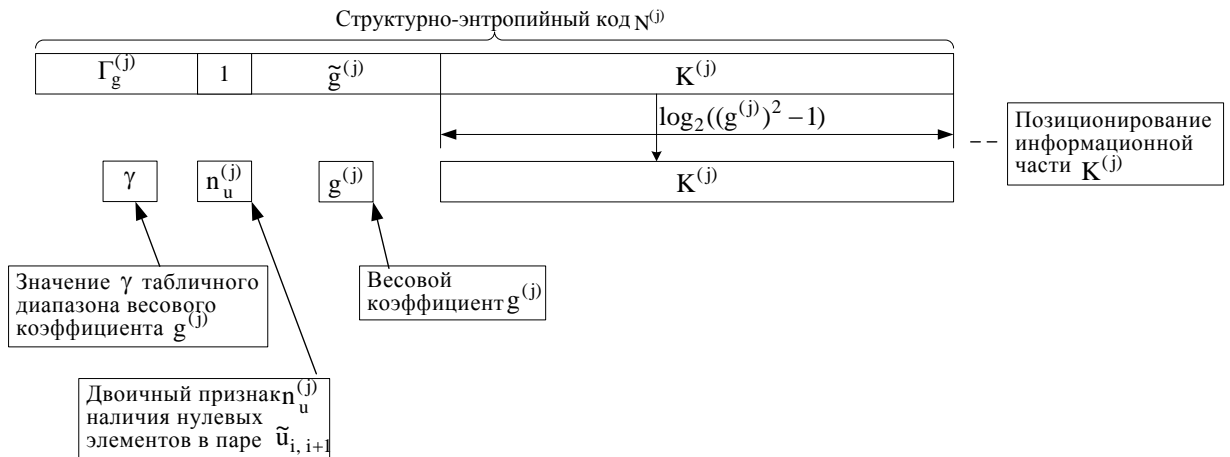


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$

В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризованной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного



изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

### **Литература**

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В, Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.

# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановленной информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;
- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j=0,5(i+1)$ , и изменяется в диапазоне  $j=\overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата

кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

*Таблица 2*

*Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$*

| Диапазон $\gamma$ значения величины $g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$ служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|---|--|
| 0   | 010   | 3  |
| 1   | 011   | 4  |
| 2   | 100   | 5  |
| 3   | 00  | 5  |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

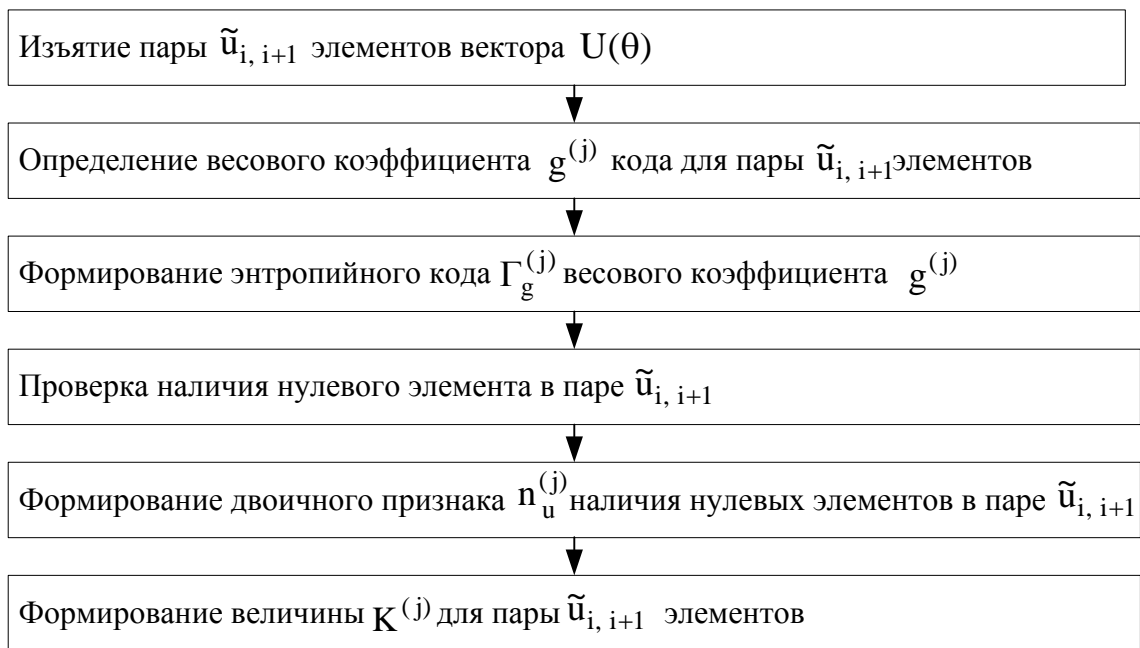
Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.





*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

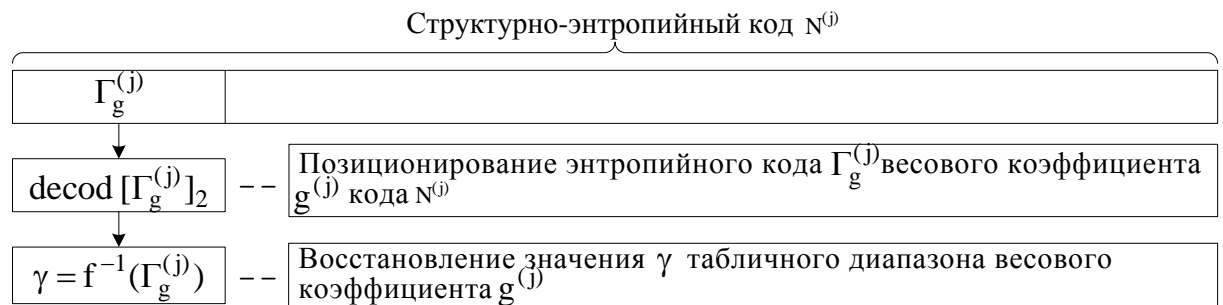


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

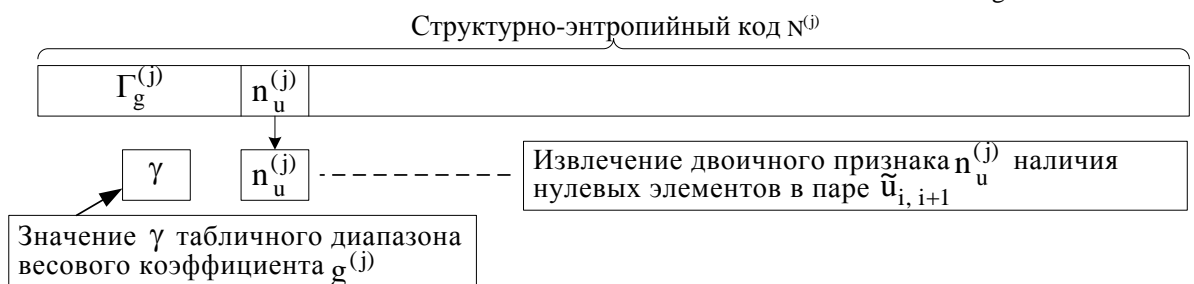


Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

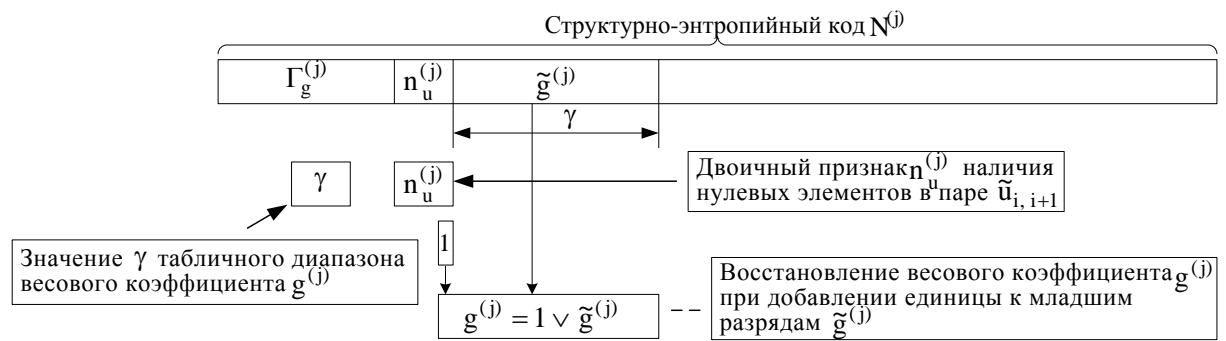


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

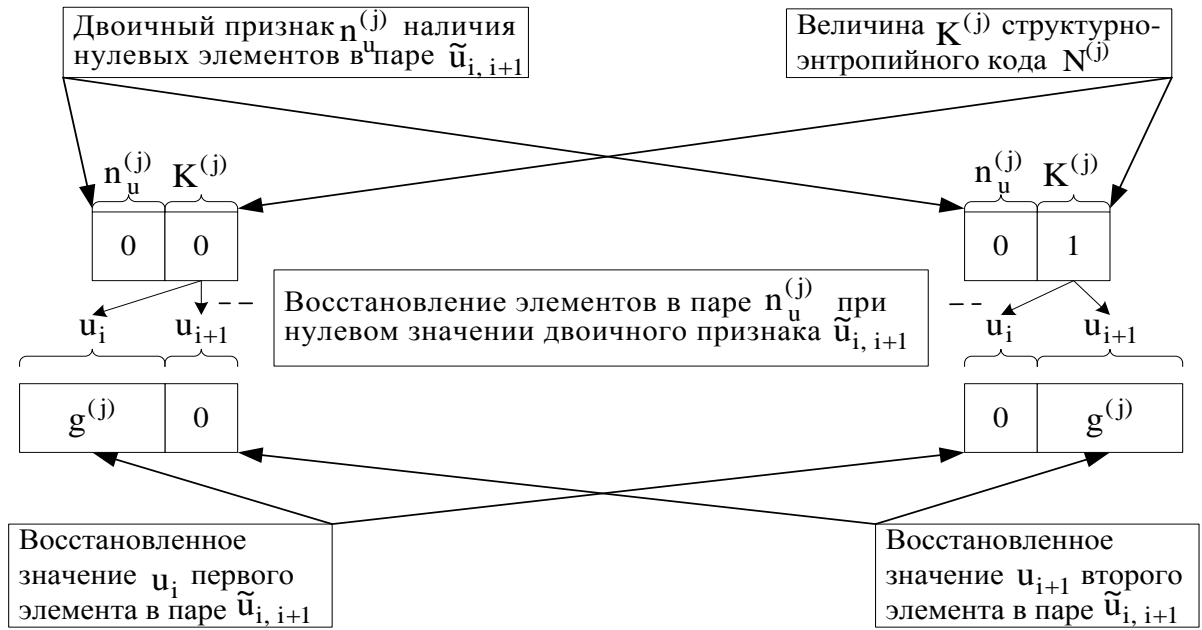


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

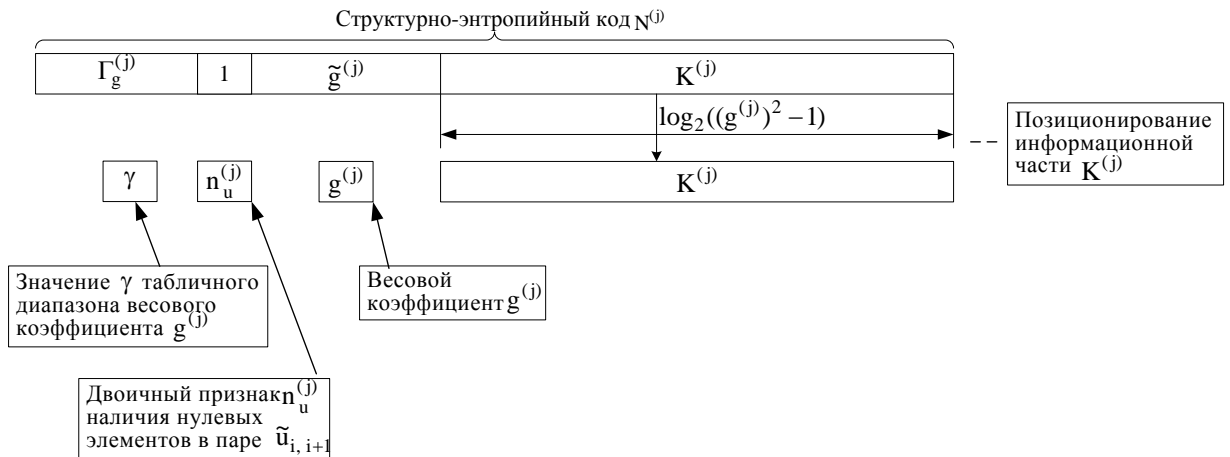


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$

В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризованной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного

изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

### **Литература**

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В, Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.



# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановленной информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;
- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j = 0,5(i + 1)$ , и изменяется в диапазоне  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата

кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

*Таблица 2*

*Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента*

$g^{(j)}$

| Диапазон $\gamma$<br>значения величины<br>$g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$<br>служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода<br>весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|--|---|
| 0   | 010  | 3   |
| 1   | 011  | 4   |
| 2   | 100  | 5   |
| 3   | 00   | 5   |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

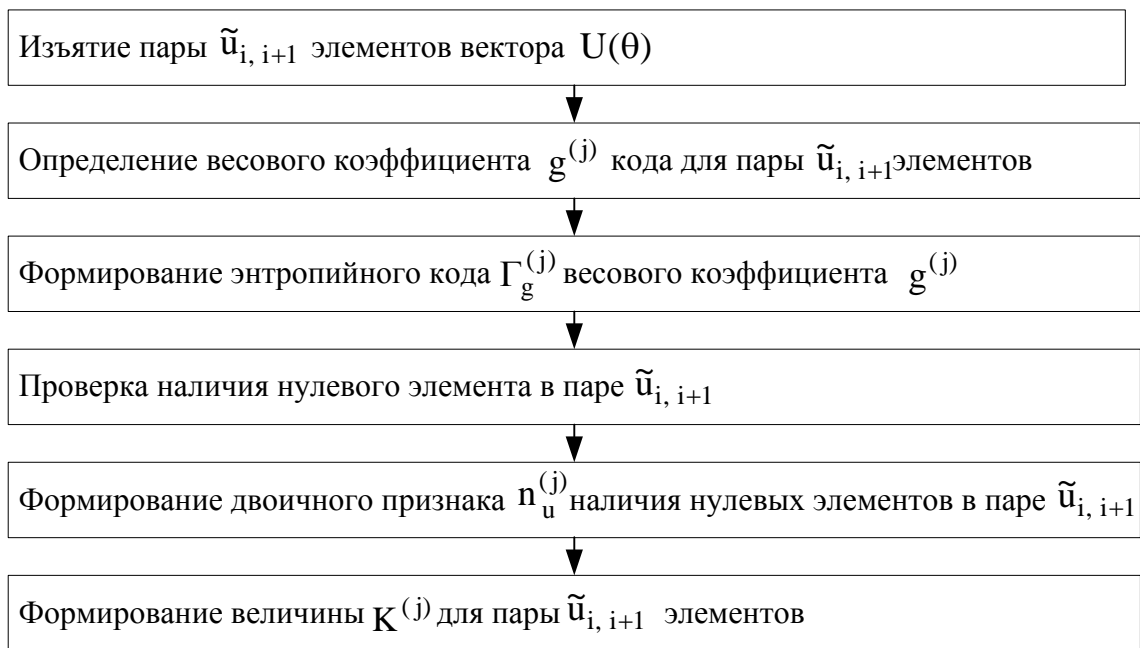
$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.



*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

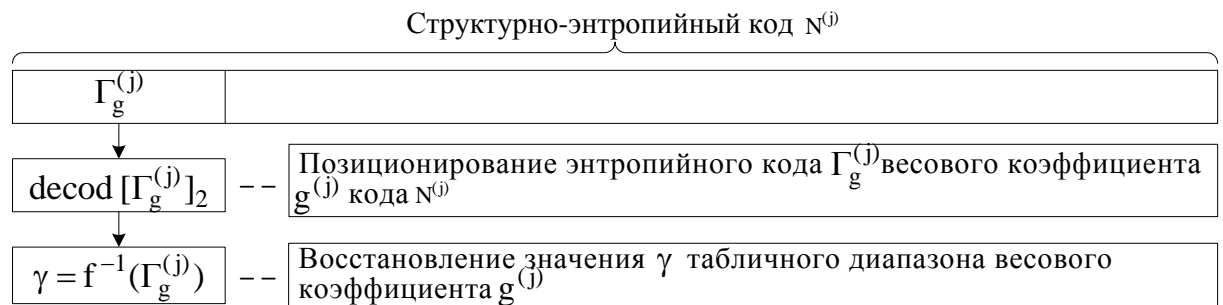


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

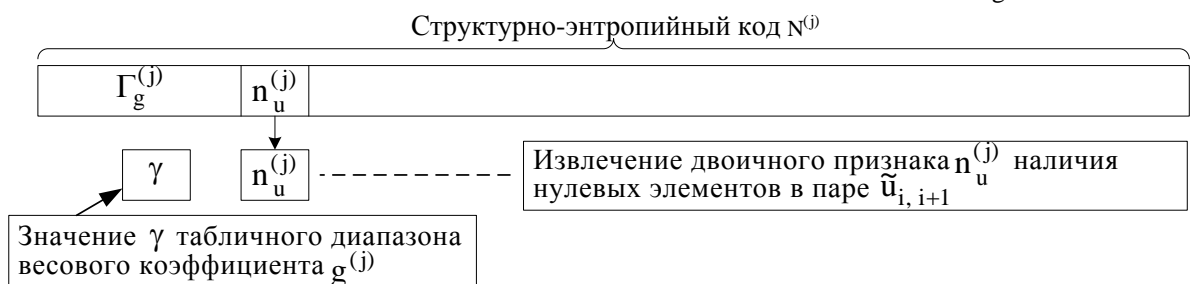




Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

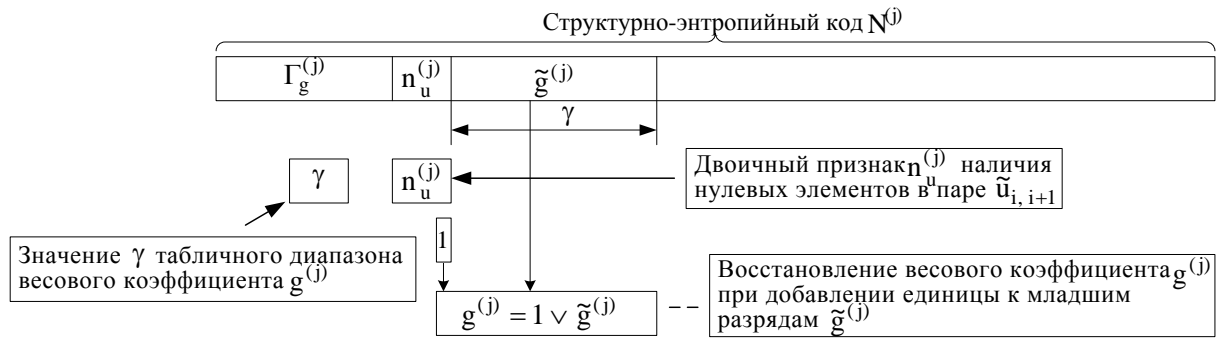


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

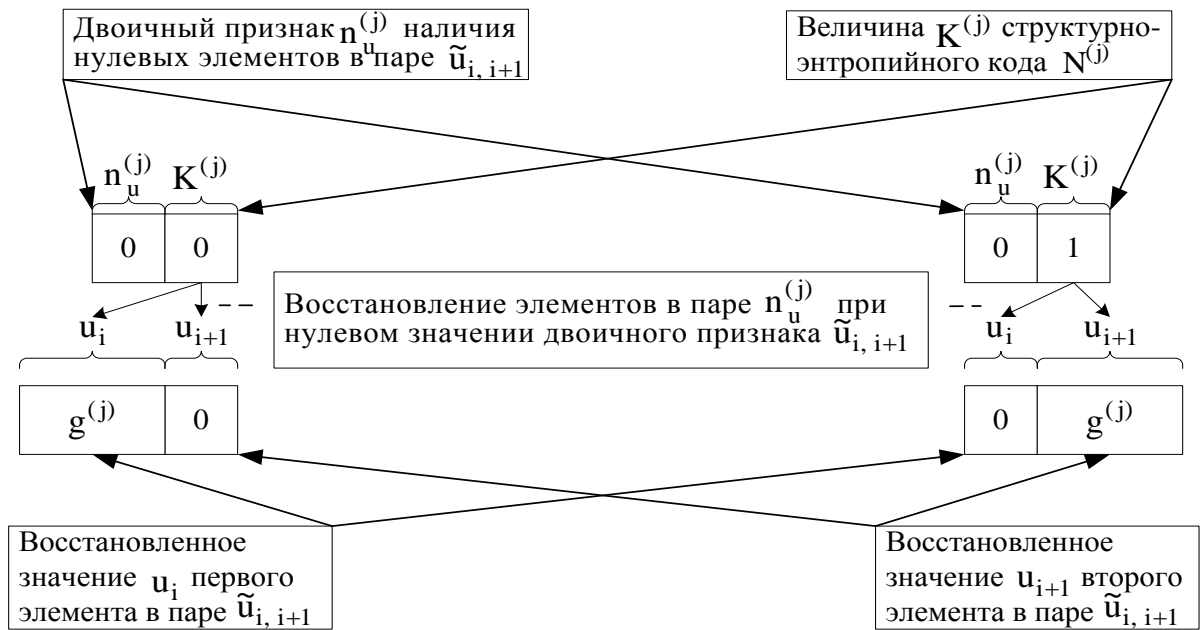


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

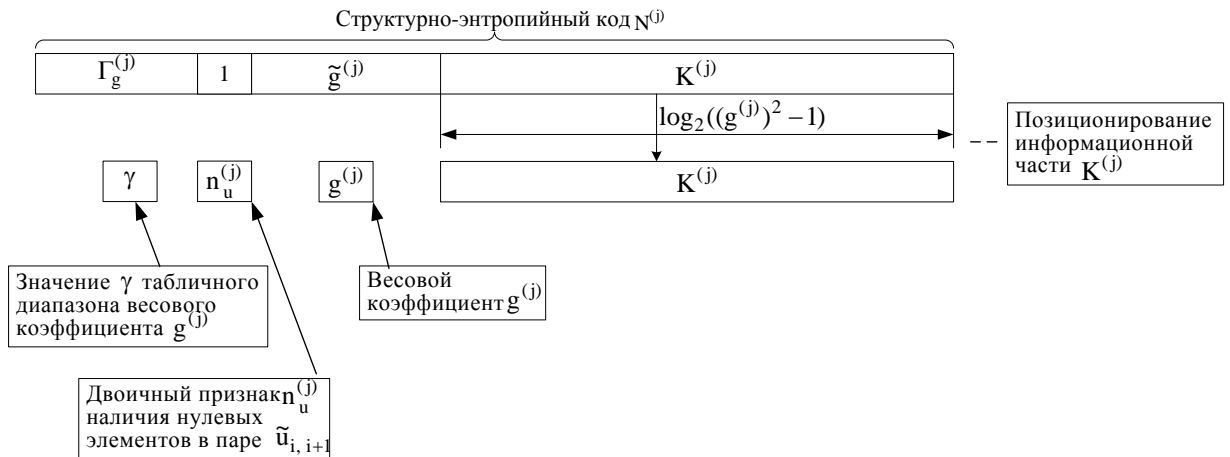


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$

В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного

изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

### **Литература**

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В, Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.

# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановление информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;

- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j=0,5(i+1)$ , и изменяется в диапазоне  $j=\overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .



Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата

кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

Таблица 2

Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$

| Диапазон $\gamma$ значения величины $g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$ служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|---|--|
| 0   | 010   | 3  |
| 1   | 011   | 4  |
| 2   | 100   | 5  |
| 3   | 00  | 5  |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

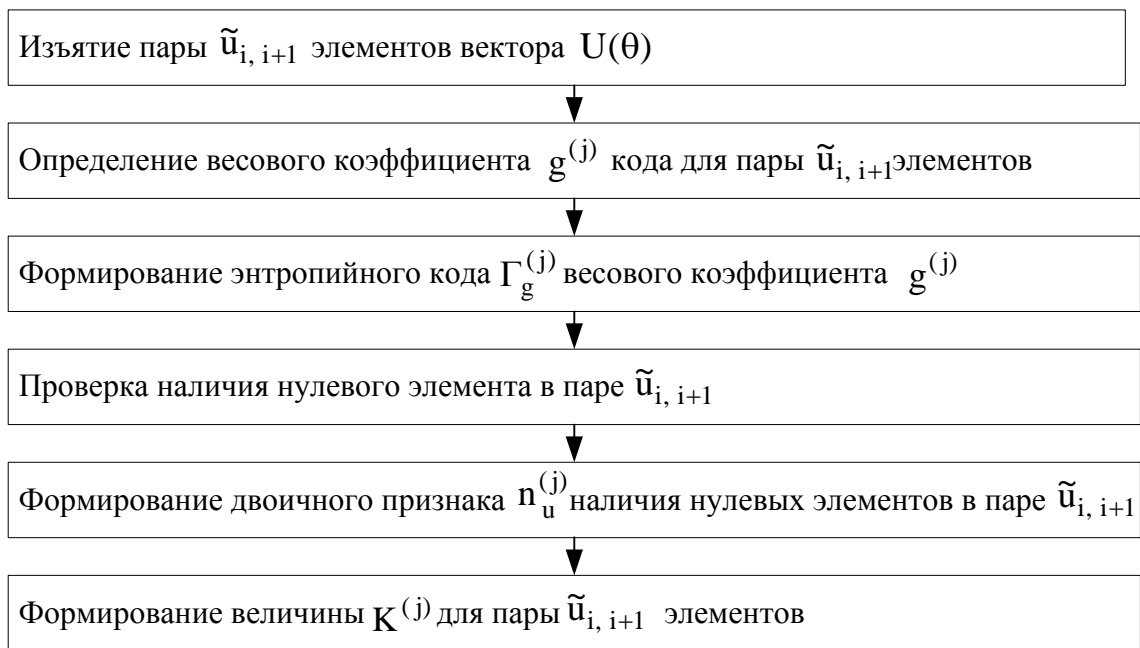
$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.



*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

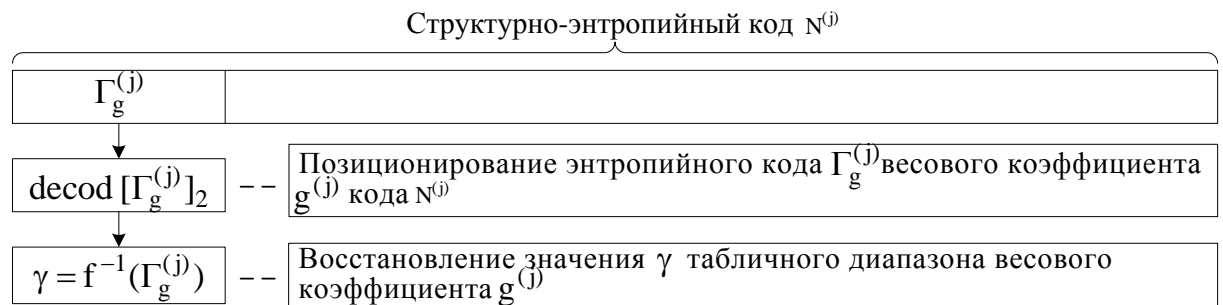


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

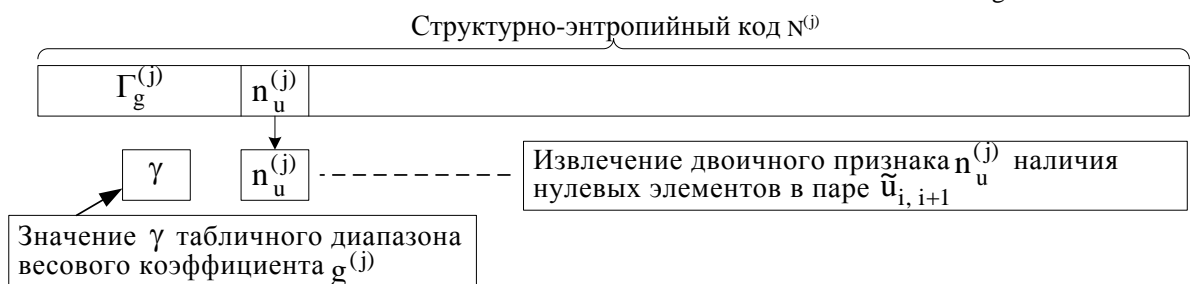


Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

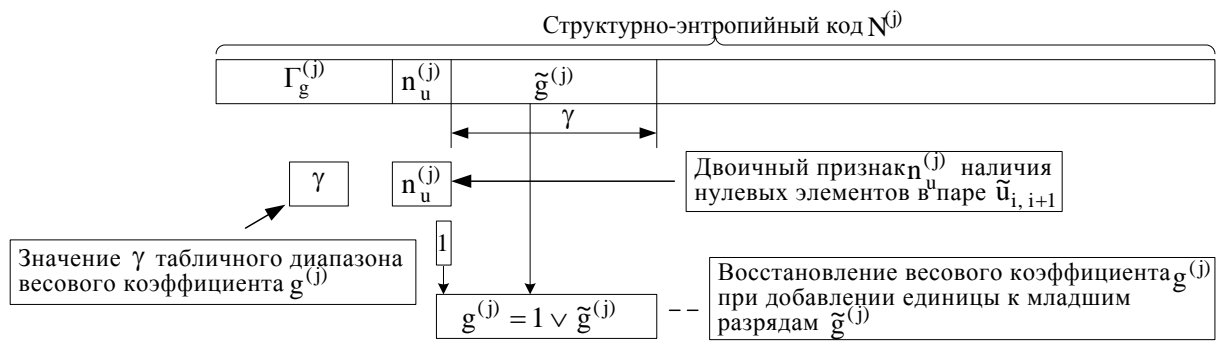


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

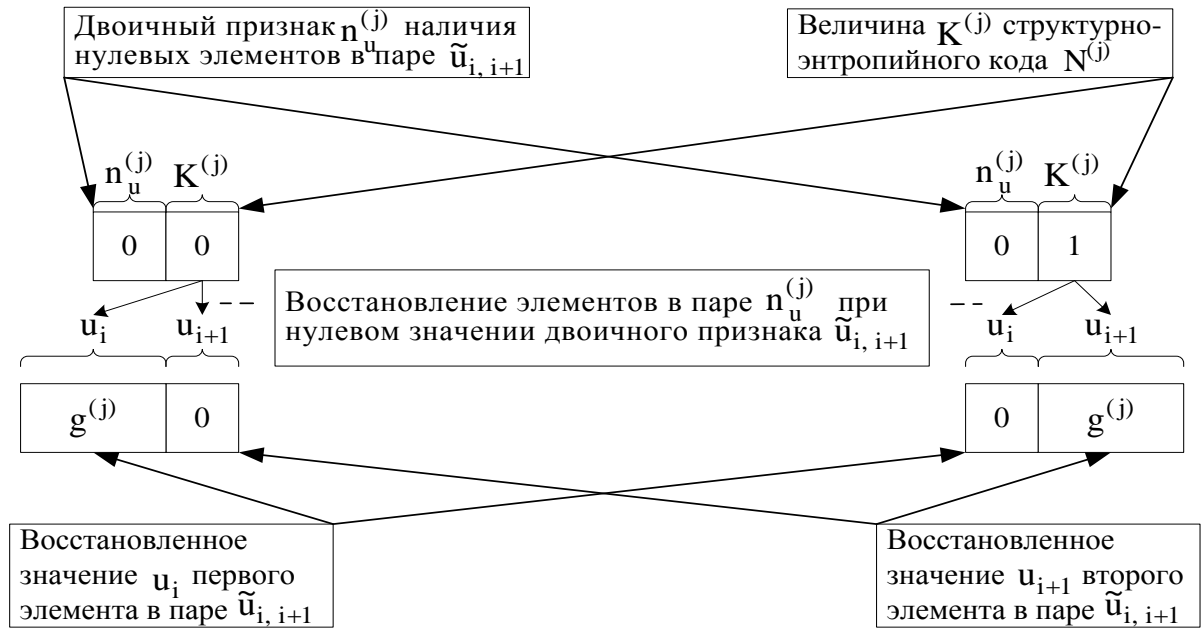


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

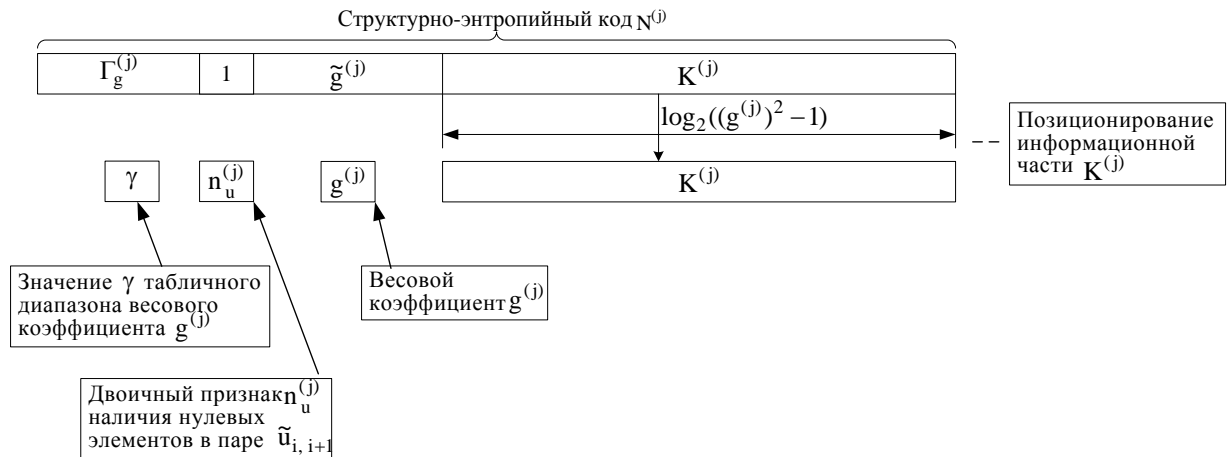


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$



В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного

изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

## Литература

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиозлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В., Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.

# СТРУКТУРНО-ЭНТРОПИЙНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В ИНФОКОММУНИКАЦИЯХ

*Баранник В.В., Подлесный С.А., Гаврилов Д.С.*

## **Введение**

Видеоинформационные ресурсы (ВИР) в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) используются для постоянного контроля, четкого и постоянного управления войсками в ВСУ [1]. Одним из примеров использования ВИР является применение беспилотных летательных аппаратов с целью наблюдения за территорией, выявление фактов терроризма или проведения разведки [2]. Полученная информация передается по каналам радиосвязи на командный пункт. Также областью использования ВИР в ВСУ является видеоконференцсвязь. Актуальность применения видеоконференцсвязи обусловлена необходимостью своевременного принятия решений и обсуждения определенных проблем при невозможности личной встречи [3]. При выполнении передачи видеоинформации может происходить влияние на телекоммуникационное оборудование. Это связано как наличием природных факторов, так и влиянием противника, который проводит кибератаки [4, 5]. При воздействии таких помех в телекоммуникационном оборудовании может произойти сбой, что приводит к искажению видеоинформации. В результате наличия битовой ошибки в статистическом коде происходит неверная идентификация всех последующих VLC-кодов. Этим аргументируется, что при наличии битовой ошибки в потоке кодов переменной длины влияние ошибки может сильно влиять на восстановление значений коэффициентов ДКП, то есть статистический код не является устойчивым к ошибкам [6]. Поэтому возникает проблема обеспечения целостности информации в телекоммуникационных системах.

Для борьбы с такими ошибками в существующую технологию кодирования JPEG добавляют помехоустойчивое кодирование. Принцип работы такого кодирования в том, что к передаваемой информации добавляют проверочные биты [7]. Это позволяет выявить и исправить ошибки. В результате происходит восстановленной информации. Но в такой схеме присутствуют следующие недостатки:

- применение помехоустойчивого кодирования происходит с использованием аппаратных и временных затрат. Это приводит к увеличению времени обработки;

- при добавлении дополнительных битов увеличивается объем информации. Это приводит к увеличению времени передачи видеоинформации.

Данные недостатки влияют на оперативность передачи видеоинформации, что недопустимо для использования в военной сфере. Поэтому решение проблемы обеспечения целостности ВИР является актуальным.

Целью данной работы является разработка метода повышения целостности информации на основе существующих технологий обработки изображений, основным условием при реализации которых является сохранение временных затрат на передачу в телекоммуникационных системах.

Для достижения данной цели в работе необходимо:

1. Провести модернизацию представления ВИР в существующих технологиях обработки изображений.
2. Разработать метод выравнивающего статистического кодирования с учетом структурных характеристик обрабатываемого изображения.
3. Провести анализ категорий информационной безопасности для разработанного метода.

### **1. Разработка метода структурно-энтропийного кодирования линеаризированной трансформанты**

Для повышения помехозащищенности видеоинформационного ресурса предлагается изменить существующую технологию статистического кодирования. Для этого **предлагается** исключить выполнение квантизации компонент трансформанты. Этим достигается следующее:

- 1) повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- 2) увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

Отсутствие квантизации приводит к уменьшению количества нулевых компонент в трансформанте. С другой стороны, это приводит к росту информационной интенсивности. Поэтому для компенсации такого роста **предлагается**:

- формировать код  $N^{(j)}$  для каждой пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты;
- в процессе формирования кода  $N^{(j)}$  учитывать структурно-статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Формирование информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  задается следующим функционалом:

$$K^{(j)} := g^{(j)} \times f_{\alpha}(u_i, u_{i+1}) + f_{\beta}(u_i, u_{i+1}), \quad (1)$$

где  $j$  – индекс кода  $N^{(j)}$  пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  линеаризированной трансформанты, который определяется, как  $j=0,5(i+1)$ , и изменяется в диапазоне  $j=\overline{1; \frac{\theta}{2}}$ ;

$g^{(j)}$  – весовой коэффициент кода  $N^{(j)}$ , который определяется как максимум элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.  $g^{(j)} = \max(u_i, u_{i+1})$ ;

$f_{\alpha}(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_{\beta}(u_i, u_{i+1})$  – функции обработки элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ .

Для снижения информационной интенсивности кода  $N^{(j)}$  предлагается ввести признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  согласно следующего правила

$$n_u^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0 \text{ или } u_{i+1} = 0, n_u^{(j)} = 1 \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0 \quad (2)$$

и задать следующие значения функций  $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ ,  $f_\beta(u_i, u_{i+1})$  в зависимости от величин элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

Таблица 1

Таблица состояний для функций вычисления значения  $K^{(j)}$

| Значение элемента $u_i$ | Значение элемента $u_{i+1}$ | Значение функции $f_\alpha(u_i, u_{i+1})$ | Значение функции $f_\beta(u_i, u_{i+1})$ |
|-------------------------|-----------------------------|---|--|
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} = 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 0$              |
| $u_i = 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = 0$              | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = 1$              |
| $u_i > 0$               | $u_{i+1} > 0$               | $f_\alpha(u_i, u_{i+1}) = u_i - 1$        | $f_\beta(u_i, u_{i+1}) = u_{i+1} - 1$    |

Рассмотрим значение длины  $|K^{(j)}|_2$  информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ , сформированного согласно функционалу (1) с учетом четырех случаев значений кодируемых элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  (табл. 1):

1) для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется нулю, а именно:

$$g^{(j)} = 0 \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0.$$

Для сокращения информационной интенсивности кодового представления трансформанты предлагается для нулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  выбрать длину  $|K^{(j)}|_2$  информационной части кода  $N^{(j)}$  равной нулевому значению, т.е.:

$$|K^{(j)}|_2 = 0, [K^{(j)}]_2 = \{\} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0;$$

В этом случае величина  $K^{(j)}$  не передается.

2) для нулевого значения элемента  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_i$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_i \text{ при } u_{i+1} = 0.$$

Тогда согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  получится равным нулевому значению. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 0, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_{i+1} = 0;$$

3) для нулевого значения элемента  $u_i$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется  $u_{i+1}$ , а именно:

$$g^{(j)} = u_{i+1} \text{ при } u_i = 0.$$

В этом случае согласно (1) значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  будет равно единице. Длина  $|K^{(j)}|_2$  соответственно будет равна единицы, т.е.:

$$K^{(j)} = 1, |K^{(j)}|_2 = 1 \text{ при } u_i = 0;$$

4) для ненулевых значений элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$  весовой коэффициент  $g^{(j)}$  равняется их максимальной величине, а именно:

$$g^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1}) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0.$$

Для определения длины  $|K^{(j)}|_2$  необходимо определить максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  для заданной величины  $g^{(j)}$ . Анализ функционала (1) показывает, что максимальное значение  $K^{(j)}_{\max}$  образуется при равенстве элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , т.е.:

$$K^{(j)} = g^{(j)}(g^{(j)} - 1) + (g^{(j)} - 1) = (g^{(j)})^2 - 1 = \max \text{ при } u_i = u_{i+1} = g^{(j)}. \quad (3)$$

Полученное максимальное значение информационной части  $K^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  определяет информационную интенсивность кодового представления пары элементов  $u_i$  и  $u_{i+1}$ , а именно

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } u_i > 0 \text{ и } u_{i+1} > 0. \quad (4)$$

В сформированном коде  $N^{(j)}$  служебной информацией  $K_g^{(j)}$  является значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  и признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов. С целью снижения информационной интенсивности служебной части кода  $N^{(j)}$  предлагается значение весового коэффициента  $g^{(j)}$  кодировать с учетом статистических свойств диапазона  $\gamma = \log_2(g^{(j)})$  значений величины  $g^{(j)}$ . Для чего кодовое представление  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  формируется из двух частей:

1) служебной части  $\Gamma_g^{(j)}$ , которая характеризует диапазон  $\gamma$  значений величины  $g^{(j)}$ ;

2) информационной части  $I_g^{(j)}$ , которая характеризует величину  $g^{(j)}$  для элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ .

При формировании содержимого  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  служебной части предлагается учитывать статистическую зависимость между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$ . Снижение информационной интенсивности для двоичного представления разновеероятностных величин реализовано в энтропийных кодах. Поэтому служебная часть является энтропийным кодом  $\Gamma_g^{(j)}$ , который формируется с использованием существующего аппарата



кодирования низкочастотных компонент для технологий семейства JPEG (табл. 2). Это приводит к интеграции разрабатываемого метода в современные технологии обработки изображений.

Для учета структурной зависимости между элементами  $u_i$  и  $u_{i+1}$  предлагается формировать содержимое  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  информационной части на основе признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Поэтому в результате учета рассмотренных зависимостей разработанный метод является структурно-энтропийным кодированием. Общая длина  $|K_g^{(j)}|_2$  кода весового коэффициента  $g^{(j)}$  следующая (табл. 2):

Для обеспечения обработки отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  предлагается формировать матрицу знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$ . Значение элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков формируется согласно следующему правилу:

$$\text{sign}(\chi, \kappa) = 1 \text{ при } y(\chi, \kappa) < 0, \text{ sign}(\chi, \kappa) = 0 \text{ при } y(\chi, \kappa) \geq 0. \quad (5)$$

В результате обработки всех пар  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты образуется последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  кодов  $N^{(j)}$ . Здесь величина диапазона  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  индекса указывает, что количество кодов  $N^{(j)}$  в два раза меньше, чем количество элементов вектора линеаризированной трансформанты  $U(\theta)$ . Каждый код  $N^{(j)}$  представляет собой композицию служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих.

Служебная составляющая включает в себя три части, а именно:

- 1) энтропийный код  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;
- 2) признак  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;
- 3) младшие разряды  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ .

Таблица 2

Кодовая таблица двоичного представления  $K_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$

| Диапазон $\gamma$ значения величины $g^{(j)}$ | Содержимое $[\Gamma_g^{(j)}]_2$ служебной части | Общая длина $ K_g^{(j)} _2$ кода весового коэффициента $g^{(j)}$ |
|---|---|--|
| 0   | 010   | 3  |
| 1   | 011   | 4  |
| 2   | 100   | 5  |
| 3   | 00  | 5  |

|    |           |    |
|----|-----------|----|
| 4  | 101       | 7  |
| 5  | 110       | 8  |
| 6  | 1110      | 10 |
| 7  | 11110     | 12 |
| 8  | 111110    | 14 |
| 9  | 1111110   | 16 |
| 10 | 11111110  | 18 |
| 11 | 111111110 | 20 |

Содержание информационной  $K^{(j)}$  составляющей кода  $N^{(j)}$  зависит от наличия нулевого элемента в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Здесь возможны следующие четыре варианта:

$$1) [K^{(j)}]_2 = \{ \} \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} = 0; \quad (6)$$

$$2) K^{(j)} = 0 \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} = 0; \quad (7)$$

$$3) K^{(j)} = 1, \text{ при } u_i = 0, u_{i+1} > 0; \quad (8)$$

$$4) K^{(j)} = \max(u_i; u_{i+1})(u_i - 1) + (u_{i+1} - 1) \text{ при } u_i > 0, u_{i+1} > 0. \quad (9)$$

Композиция служебной  $K_g^{(j)}$  и информационной  $K^{(j)}$  составляющих для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  представлена следующим выражением:

$$N^{(j)} = \Gamma_g^{(j)} \vee n_u^{(j)} \vee \tilde{g}^{(j)} \vee K^{(j)}. \quad (10)$$

Здесь  $\Gamma_g^{(j)}$  – код диапазона  $\gamma$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

$n_u^{(j)}$  – признак наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

$\tilde{g}^{(j)}$  – младшие разряды весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

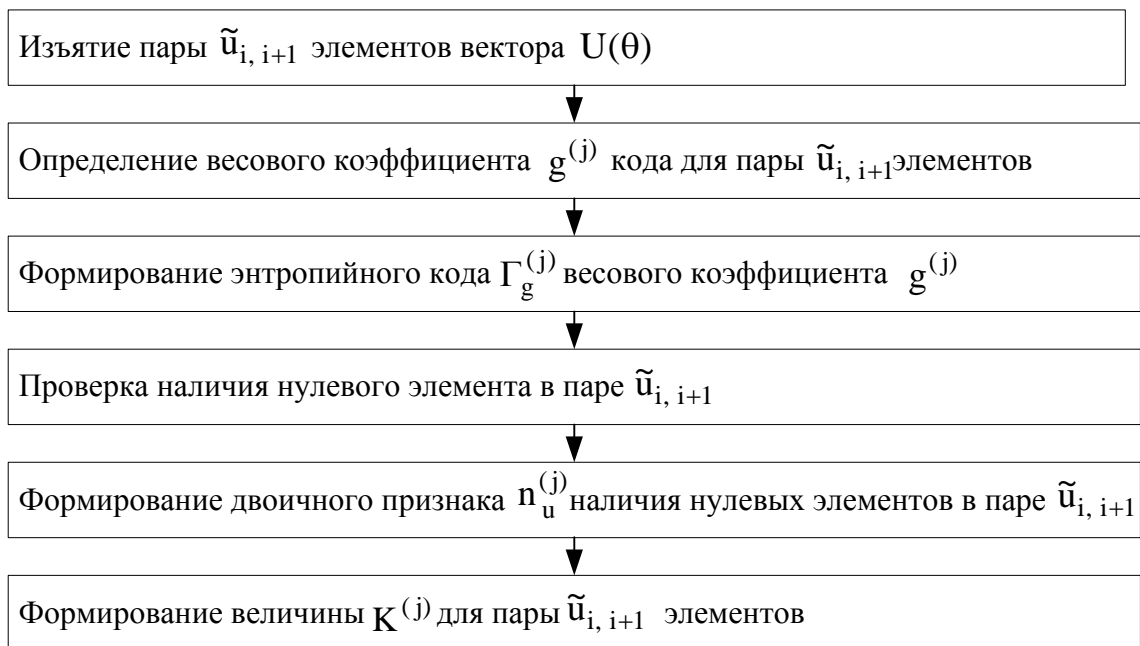
$K^{(j)}$  – величина информационной части кода  $N^{(j)}$ .

Из анализа соотношений (6 – 10) следует, что длина  $|N^{(j)}|_2$  каждого кода  $N^{(j)}$  является переменной, так как:

– длина  $|K_g^{(j)}|_2$  служебной части кода зависит от статистических характеристик кодируемых элементов;

– длина  $|K^{(j)}|_2$  информационной части определяется структурной особенностью обрабатываемой пары.

Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты показана на рис. 1.



*Рис. 1. Структурная схема формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты*

## **2. Разработка метода структурно-энтропийного декодирования линеаризированной трансформанты**

Для разработки метода декодирования необходимо рассмотреть порядок восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . На вход декодера поступает последовательность  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  переменной длины, которые формируются как композиция служебной части  $K_g^{(j)}$  и информационной части  $K^{(j)}$ . Для восстановления структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты сначала необходимо провести четыре последовательных этапа извлечения и восстановления его составляющих, а именно:

– три этапа обработки служебной части  $K_g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

1) энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , который соответствует  $\gamma$ -му диапазону величины  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$ ;

2) признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ ;

3) младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$ ;

– один этап обработки информационной части структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ :

4) величины  $K^{(j)}$ , которая соответствует кодовому представлению пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты.

Рассмотрим подробнее каждый этап.

1. Позиционирование энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  происходит поэлементно в соответствии с кодовой таблицей (табл. 2). Восстановление значения  $\gamma$  табличного диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$  кода  $N^{(j)}$  выполняется при сопоставлении двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  соответствующей строки кодовой таблицы (рис. 2).

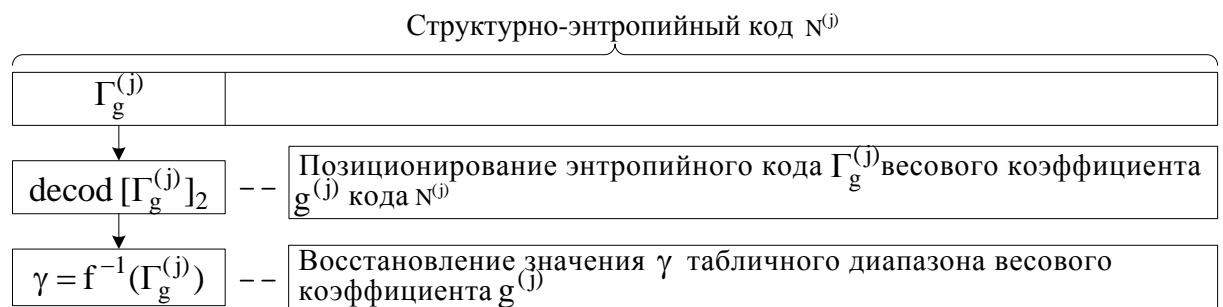


Рис. 2. Восстановление значения  $\gamma$  диапазона весового коэффициента  $g^{(j)}$

Однако возможен случай, когда для энтропийного кода  $\Gamma_g^{(j)}$ , содержащего двоичную последовательность  $[\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010$ , будет определено, что кодированию подвергалась пара элементов с нулевым значением, т.е.:

$$u_i = u_{i+1} = 0 \text{ при } [\Gamma_g^{(j)}]_2 = 010. \quad (11)$$

Тогда декодирование структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  завершается, и дальнейшие двоичные элементы в кодовом потоке соответствуют уже следующему  $(j+1)$ -му структурно-энтропийному коду  $N^{(j+1)}$ .

2. Далее происходит извлечение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  наличия нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Восстановленный двоичный признак  $n_u^{(j)}$  равняется значению двоичного элемента, расположенного в структурно-энтропийном коде  $N^{(j)}$  после двоичной последовательности  $[\Gamma_g^{(j)}]_2$  (рис. 3).

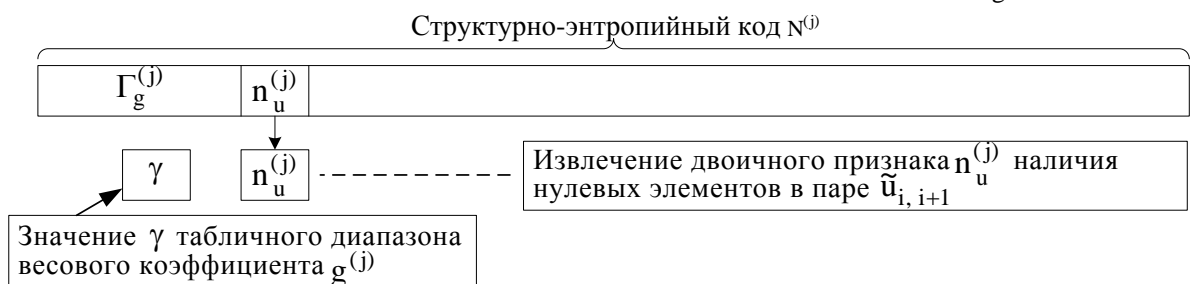


Рис. 3. Восстановление двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Восстановленное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  определяет структурную характеристику кодируемых элементов. Здесь единичное значение двоичного признака  $n_u^{(j)}$  указывает на отсутствие нулевых элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ , а нулевое значение, напротив, – на наличие.

3. Окончательным этапом обработки служебной части  $K^{(j)}$  является восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ . Для этого при позиционировании младших разрядов  $\tilde{g}^{(j)}$  весового коэффициента  $g^{(j)}$  применяется величина  $\gamma$ , восстановленная на первом этапе декодирования (рис. 4). Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$  заключается в дополнении к извлеченным младшим разрядам  $\tilde{g}^{(j)}$  слева двоичного элемента равного единице. Это обусловлено исключением старшего разряда весового коэффициента  $g^{(j)}$  в процессе формирования структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$ .

Следующим после обработки служебной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  является извлечение информационной части  $K^{(j)}$  структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  и восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$ . Для этого применяются восстановленные в процессе декодирования служебные данные.

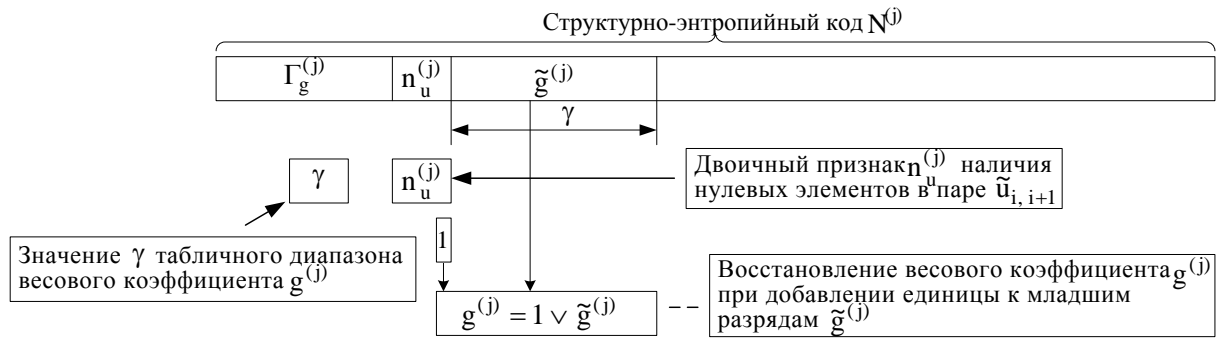


Рис. 4. Восстановление весового коэффициента  $g^{(j)}$

Начальное условие позиционирования определяется двоичным признаком  $n_u^{(j)}$ . Это заключается в следующем:

1) для нулевого значения двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  равняется единице (рис. 5). В этом случае восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  задается значением  $K^{(j)}$ , а именно:

$$u_i = g^{(j)}, u_{i+1} = 0 \text{ при } K^{(j)} = 0, n_u^{(j)} = 0, \quad (12)$$

$$u_i = 0, u_{i+1} = g^{(j)} \text{ при } K^{(j)} = 1, n_u^{(j)} = 0. \quad (13)$$

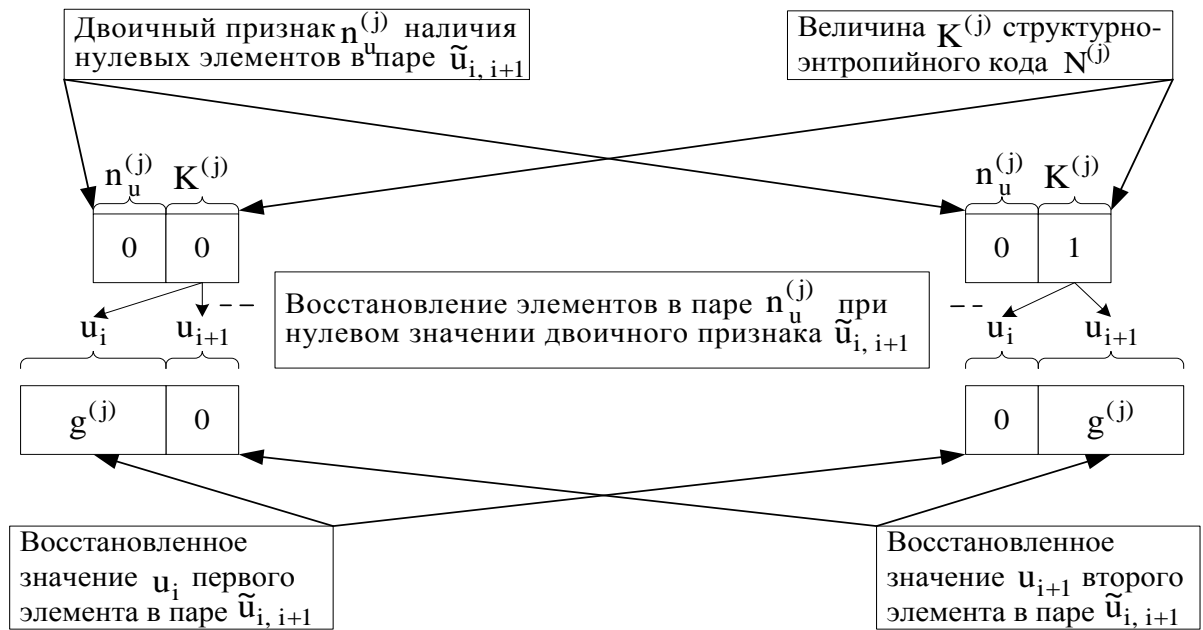


Рис. 5. Восстановление элементов в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  при нулевом значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

2) при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$  длина  $[K^{(j)}]_2$  информационной части  $K^{(j)}$  определяется восстановленным весовым коэффициентом  $g^{(j)}$  согласно следующему выражению (рис. 6):

$$|K^{(j)}|_2 = \log_2((g^{(j)})^2 - 1) \text{ при } n_u^{(j)} = 1. \quad (14)$$

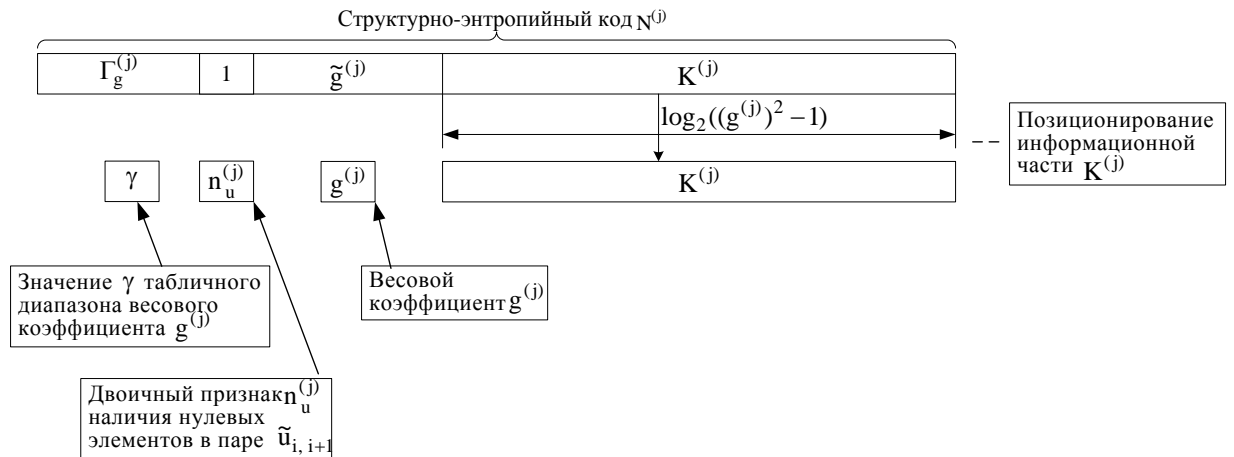


Рис. 6. Позиционирование информационной части  $K^{(j)}$  при единичном значении двоичного признака  $n_u^{(j)}$

Дальнейшее восстановление элементов  $u_i, u_{i+1}$  выполняется по следующим формулам:

$$u_i = K^{(j)} / g^{(j)} + 1, u_{i+1} = K^{(j)} \bmod g^{(j)} + 1 \text{ при } n_u^{(j)} = 1, \quad (15)$$

В результате обработки всей последовательности  $\{N^{(j)}\}$ ,  $j = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(j)}$  будут восстановлены все пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты. Для восстановления отрицательных элементов трансформанты  $Y(n, n)$  используется матрица знаков  $\text{Sign}^{(y)}(n, n)$  (5). Правило изменения знака элемента трансформанты  $Y(n, n)$  согласно значению элемента  $\text{sign}(\chi, \kappa)$  матрицы знаков описывается следующим выражением:

$$y(\chi, \kappa) = -u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 1, \quad y(\chi, \kappa) = u_i \text{ при } \text{sign}(\chi, \kappa) = 0. \quad (16)$$

Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$  показана на рис. 7.

### **3. Анализ информационной интенсивности для разработанного метода**

Результатом кодирования вектора  $U(\theta)$  элементов линеаризированной трансформанты  $L(\Lambda)^{(i)}$  кодов VLC компонент любой трансформанты является последовательность  $\{N^{(i)}\}$ ,  $i = \overline{1; \frac{\theta}{2}}$  структурно-энтропийных кодов  $N^{(i)}$ .



Рис. 7. Структурная схема восстановления пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов вектора  $U(\theta)$  линеаризированной трансформанты для структурно-энтропийного кода  $N^{(j)}$

Проведенный эксперимент показал, что при использовании разработанного метода обработки изображений происходит снижение информационной интенсивности от 10% для сильнонасыщенных изображений до 15% для средненасыщенных изображений. В результате разработано кодирование, которое осуществляется для пары  $\tilde{u}_{i, i+1}$  элементов и учитывает такую структурную особенность, как количество нулевых компонент в паре  $\tilde{u}_{i, i+1}$  и значение весового коэффициента  $g^{(j)}$ .

Формирование двоичного представления весового коэффициента  $g^{(j)}$  производится с учетом статистических характеристик элементов исходного



изображения. Разработанный метод называется структурно-энтропийным кодированием. Формирование кодовых конструкций с учетом структурно-статистических особенностей элементов изображения позволяет сократить интенсивность двоичного представления трансформанты с минимальным использованием служебных данных. При искажении кодового представления ошибка будет локализована в области значений весового коэффициента  $g^{(j)}$ . Этим достигается обеспечение целостности ВИР при заданном уровне доступности.

### **Выводы**

По вышеизложенному материалу можно заключить, что разработана технология формирования структурно-энтропийных кодов для всех компонент трансформанты. Использование разработанной технологии приводит к снижению информационной интенсивности. Это достигается за счет:

- формирования общего кода для пары элементов вектора линеаризированной трансформанты. Здесь технология учитывает такую структурную особенность, как значение обрабатываемых элементов в паре;
- формирования энтропийного кода для максимального значения обрабатываемых элементов в паре. В данном случае учитывается статистическая особенность компонент обрабатываемой трансформанты.

Научная новизна:

1. Впервые предлагается исключить выполнение квантизации компонент. Этим достигается следующее:

- повышается целостность в связи с отсутствием ошибок округления при квантизации;
- увеличивается доступность видеоинформационного ресурса вследствие уменьшения временных затрат на обработку.

2. Впервые предлагается производить выявление компонент с нулевым значением. Это приводит к следующему:

- 1) отсутствию информационных затрат на передачу кодового представления пары нулевых элементов;
- 2) снижению информационных затрат на передачу кодового представления одного ненулевого элемента.

3. Впервые предлагается формировать код пары элементов на основе весового коэффициента. Этим достигается снижение информационной интенсивности двоичного представления пары элементов. При искажении информационной части структурно-энтропийного кода ошибка восстановления локализуется в области значений весового коэффициента.

Этим обеспечивается условие повышения целостности видеоинформационного ресурса для заданного уровня доступности.

## Литература

1. Баранник В.В. Метод локализации потери целостности информации на основе слот-технологии [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный, Д.В. Баранник // Радиоэлектроника и информатика. – Х.: ХНУРЭ, 2015, – Вип. 4. – С. 32 – 41.
2. Баранник В.В, Метод підвищення стійкості відеоконтенту до кібернетичних атак у інфокомунікаційних системах [Текст] / В.В. Баранник, С.А. Подлесный // Безпека інформації. – К.: НАУ, 2016. – Вип. 22(2). – С. 123 – 130.
3. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Analysis of the action of cyber-attacks in the video-information's resources in the information-telecommunications networks", Management Information System and Devices, 2014. – vol. 169, No 4. – pp. 16 – 22.
4. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and S.S. Shulgin, "Methodology of impact assessment of safety cyber-attacks on video information resources in telecommunications system", Radioelektronika i informatika, 2016. – vol. 72, No 1. – pp. 61 – 64.
5. V.V. Barannik and S. A. Podlesny, "The analysis of the use of technologies of error resilient coding at influence of an error in the codeword", in 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Lviv, Ukraine, Nov, 2016. – pp. 52 – 54.
6. V.V. Barannik, S.A. Podlesny and D.V. Barannik, "Method of location loss of integrity of information based on slot-technologies", Radioelektronika i informatika, 2015. – vol. 71, No 4. – pp. 32 – 41.
7. V.V. Barannik and S.A. Podlesny, "Basis of approach for creating technology for cyber defence of video information resources in the infocommunication space", Science-based technologies, 2016. – vol. 29, No 1. – pp. 82 – 86.

