



МЕТОД ЭФФЕКТИВНОГО КОДИРОВАНИЯ РАЗДЕЛЕННЫХ ПО КОМБИНИРОВАННОЙ СХЕМЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ

БАРАННИК В.В., СТАСЕВ С.Ю.,
ТАРНОПОЛОВ Р.В.

Предлагается метод эффективного кодирования по комбинированной схеме. Устраняется недостаток снижения минимальной границы массива верхнего квантового уровня. Указывается порядок вычисления значений для квантованных элементов массива раздельного представления компонент трансформанты. Обосновывается снижение временных затрат на доставку видовых изображений для комбинированной схемы кодирования.

Ключевые слова. Аэромониторинг, обработка видовых изображений, структурное кодирование, избыточность представления изображений.

Keywords. Aeromonitoring, processing of views images, structured coding, redundancy of image representation.

1. Введение

В настоящее время происходит активное внедрение систем наблюдения в структуру управления ведомственными организациями, особенно в Вооруженных Силах Украины, с применением беспилотных летательных аппаратов [1]. Целью аэромониторинга является получение видовых изображений местности с помощью фотографирования. Ценность содержимого данных видовых изображений выдвигает требования к снижению временных затрат на обработку и доведение данных аэрофотоснимка при необходимости соответствия восстановленного изображения исходному [2]. Для математического описания обработки аэрофотоснимков исходные изображения представляют двумерный сигнал с некоторым объемом информации [3].

В таких технологиях обработки аэрофотоснимков на базе статистического кодирования (кодов переменной длины), как JPEG, JPEG2000, значение информационной интенсивности потока данных определяется постфактум [4]. При альтернативном выборе в качестве технологии обработки структурного кодирования, служебная информация о векторе оснований при формировании вектора-столбца взвешенных коэффициентов позволяет определить максимальное

значение и соответственно длину кода-номера. Также данная схема кодирования формирует меньшее количество разрядов на кодовое представление массивов данных [5]. Значение кода при этом вычисляется на основе аналитического выражения. Для этого используются только значения элементов массива данных и значения компонент вектора оснований. Это приводит к образованию спектрального раздельно-нормированного пространства (СРНП) [6].

В случае обработки аэрофотоснимка с сильно насыщенными фрагментами, которые характеризуются повышенной информационной интенсивностью, увеличиваются временные затраты на доставку данных.

При этом динамический диапазон компонент трансформанты характеризуется неравномерностью распределения. В результате этого появляется возможность квантования компонент по величинам значений в массивы раздельного представления (МРП).

Поэтому *цель работы* заключается в создании метода обработки аэрофотоснимков на основе структурного кодирования с выполнением следующих требований:

- квантование на основе выделения двухградационности диапазонов представления элементов трансформанты с помощью их матрицы признаков;
- уменьшение комбинаторной избыточности в ходе одномерного кодирования в двумерном пространстве по блочной схеме;
- устранение дополнительных затрат служебной информации.

2. Разработка метода эффективного кодирования

Первый механизм предлагаемого метода технологии компактного представления основан на квантовании массивов раздельного представления в двумерном пространстве с матрицей признаков.

1. На основе разброса $\Delta_{k\ell}$ значений элементов МРП определяется порог квантования. При этом применяется следующая формула:

$$S(x')_{\text{пор}} = \left(\sum_{k=1}^{\beta} \sum_{\ell=1}^{\beta} \Delta_{k\ell} \right) / \beta^2.$$

2. Производится квантование МРП. Принадлежность элементов МРП по массивам квантующих уровней определяется согласно следующему правилу:

- при выполнении соотношения для диапазона элементов $x'_{k\ell}$:

$$\Delta_{k\ell} \leq S(x')_{\text{пор}},$$

элемент $x'_{k\ell}$ изначально соотносят к области нижнего квантующего уровня $x'_{k\ell} \in X^{(0)}$;

– в обратном случае элемент $x'_{k\ell}$ предварительно соотносят к массиву верхнего квантующего уровня $x'_{k\ell} \in X^{(1)}$.

3. Для устранения недостатка, связанного со снижением минимальной границы в массиве верхнего квантованного уровня вплоть до нулевого уровня, когда диапазон значений элемента $x'_{k\ell}$ МРП будет выше порогового значения квантования $S(x')_{\text{пор}}$, а само значение элемента будет ниже порогового значения [2], предлагается сформировать матрицу признаков для элементов массива раздельного представления. Значение элементов матрицы определяется следующей системой неравенств:

$$\text{matrix}_{k\ell} = \begin{cases} 0, & \rightarrow \Delta_{k\ell} > S(x')_{\text{пор}} \vee x'_{k\ell} \geq S(x')_{\text{пор}}; \\ 1, & \rightarrow \Delta_{k\ell} > S(x')_{\text{пор}} \ \& \ x'_{k\ell} < S(x')_{\text{пор}}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\text{matrix}_{k\ell}$ – элемент матрицы признаков $\text{Matrix}^{(2)}$ на позиции $(k; \ell)$.

При этом значение элементов матрицы признаков $\text{Matrix}^{(2)}$ на позиции $(k; \ell)$ передается декодеру при выполнении условия $\Delta_{k\ell} > S(x')_{\text{пор}}$.

4. Элементы массивов нижнего $x^{(0)}_{k\ell}$ и верхнего $x^{(1)}_{k\ell}$ квантованного уровня могут находиться на разных позициях в МРП. Для этого на следующем этапе обработки из полученных элементов создаются наиболее полные массивы для упрощения процесса кодирования. В процессе формирования подмассивов нижнего и верхнего квантованного уровня необходимо обращать внимание на следующие особенности, которые выражаются в том, что:

– заполнение массивов производится в направлении строк, так как это определяется направлением кодирования;

– при заполнении строки элементом из другой строки, который характеризуется большим значением, необходимо пересчитать разброс значений элементов для всей строки.

Это приводит к образованию двух составляющих массива раздельного представления $X^{(0)}$ и $X^{(1)}$.

5. Производится пересчет диапазона $\Delta^{(0)}_{k\ell}$ значений элементов массива нижнего квантованного уровня с учетом применения матрицы признаков. Расчет при этом происходит согласно следующей системе уравнений:

$$\Delta^{(0)}_{k\ell} = \begin{cases} \Delta_{k\ell}, & \rightarrow \text{matrix}_{k\ell} = 0; \\ S(x')_{\text{пор}}, & \rightarrow \text{matrix}_{k\ell} = 1. \end{cases} \quad (2)$$

6. Производится обработка массива верхнего квантованного уровня. При этом определяются минимальные значения v_i для каждой строки массива верхнего квантованного уровня, т.е.

$$v_i = \min_{1 \leq j \leq \beta} \{X^{(1)}_{ij}\}, \quad i = \overline{1, \alpha}. \quad (3)$$

При этом образуется динамический диапазон элементов массива $X^{(1)}$ в раздельном пространстве согласно следующей формуле:

$$\text{dist}_{ij} = \Delta^{(1)}_{ij} - v_i, \quad (4)$$

где dist_{ij} – разность между максимальным $\Delta^{(1)}_{ij}$ и минимальным v_i значениями в i -й строке массива $X^{(1)}$ верхнего квантованного уровня.

По итогам расчетов формируется массив $\bar{X}^{(1)}$ верхнего квантованного уровня в дифференциальном пространстве, элементы которого смещены на величину минимального уровня $V^{(2)}$ раздельного пространства:

$$\bar{x}^{(1)}_{ij} = x'_{ij} - v_i. \quad (5)$$

7. Происходит объединение составляющих квантованных уровней в единый массив, в итоге чего формируется композиционное представление квантованного массива раздельного представления в двумерном пространстве. Смысл композиции состоит в распределении элементов массивов $X^{(0)}$, $\bar{X}^{(1)}$ на исходные позиции в массиве X' раздельного представления. При композиции применяется информация о диапазонах $\Delta_{k\ell}$ массива РП. При объединении формируется композиционный массив X'' , $X'' = \{x''_{k\ell}\}$. Элементы данного массива составляют композиционное квантованное число в двумерном пространстве.

Упорядочивание составляющих квантованных уровней в единый массив приводит к увеличению области кодируемых элементов. Результатом этого является большее количество потенциально устранимой структурно-комбинаторной избыточности.

Второй механизм процесса эффективного кодирования заключается в одномерном кодировании по блочной схеме. Для его выполнения необходимо определить код для композиционных квантованных с матрицей признаков чисел в двумерном пространстве.

Определение значений квантованных с матрицей признаков композиционных чисел в пространстве описывается согласно (2), (4) и (5) следующими системами уравнений для элементов нижнего квантованного уровня, верхнего квантованного уровня со значением матрицы признаков $\text{matrix}_{k\ell} = 1$ и вер-

хнего квантованного уровня со значением матрицы признаков $\text{matrix}_{k\ell} = 0$ соответственно:

$$\Delta_{k\ell} \leq S(x')_{\text{пор}} \Rightarrow \begin{cases} x''_{k\ell} := x_{k\ell}^{(0)}; \\ \Delta_{k\ell}^{(0)} := \Delta_{k\ell}; \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{matrix}_{k\ell} = 1 \Rightarrow \begin{cases} x''_{k\ell} := x_{k\ell}'^{(0)}; \\ \Delta_{k\ell}^{(0)} := S(x')_{\text{пор}}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{matrix}_{k\ell} = 0 \Rightarrow \begin{cases} x''_{k\ell} := x_{k\ell}^{(1)} - v_i; \\ \Delta_{k\ell}^{(1)} := \text{dist}_{k\ell} := \Delta_{k\ell}^{(1)} - v_i. \end{cases} \quad (8)$$

Здесь $x''_{k\ell}$ - $(k; \ell)$ -й элемент квантованного с матрицей признаков композиционного числа в двумерном пространстве.

Процесс вычисления кода в квантованном с матрицей признаков пространстве выполняется одновременно для элементов двух квантованных уровней с учетом применения матрицы признаков и дифференциального преобразования составляющей верхнего динамического уровня. В результате этого к динамическим диапазонам элементов $x''_{k\ell}$ возможно применение трех типов коррекций относительно системы оснований двумерного пространства.

Содержание кода описывает структурную сложность фрагмента аэрофотоснимка. Значение кода будет обратно пропорционально площади статических по яркости элементов фрагмента аэрофотоснимка.

При этом структурная сложность аэрофотоснимка заранее неизвестна. Это приводит к тому, что в процессе обработки разных фрагментов аэрофотоснимка будут сформированы различные значения кодов. В результате этого данные значения будут определяться структурным содержанием композиционных массивов.

При этом для фиксированной длины КПМ числа соответствие между длиной его кодового слова и структурной сложностью композиционного квантованного числа может быть нарушено. Это может привести к снижению эффективности компрессии при формировании кодов для отдельных столбцов композиционного массива; к несоответствию восстановленного аэрофотоснимка исходному вследствие недостаточной длины кодового слова для отображения значения кода, который был сформирован сразу для всего композиционного массива. В результате такая обработка приводит к уменьшению коэффициента сжатия или несоответствию восстановленного аэрофотоснимка исходному.

Для устранения зависимости от:

– динамичности содержимого массивов раздельного представления;

– дополнительных затрат служебных данных на маркировку кодовых комбинаций -

предлагается формировать неравномерные кодовые комбинации для композиционных квантованных с матрицей признаков чисел (ККМПЧ), которые характеризуются одинаковой длиной.

При этом ККМП числами будут столбцы массива X'' , а длина неравномерных кодовых комбинаций будет определяться на основе накопленного произведения оснований элементов ККМП числа.

Отсюда значение кода $Z^{(\ell)}$ и длина $|Z^{(\ell)}|_2$ кодовой комбинации будут формироваться для отдельных столбцов и вычисляться согласно следующим этапам алгоритма.

Первый этап. Значение кода определяется согласно следующему выражению:

$$Z_1^{(\ell)} = \begin{cases} x_{1,\ell}^{(0)}, & \rightarrow \Delta_{1,\ell} \leq S(x')_{\text{пор}}; \\ x_{1,\ell}^{(0)}; & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 1; \\ \bar{x}_{1,\ell}^{(1)}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 0, \end{cases}$$

где $Z_1^{(\ell)}$ – значение ℓ -го кода, состоящего из одного элемента ККМПЧ.

Соответственно накопленное произведение оснований будет определяться основанием одного элемента, т.е.

$$O_1^{(\ell)} = \begin{cases} \Delta_{1,\ell}^{(0)} = \Delta_{1,\ell}, & \rightarrow \Delta_{1,\ell} \leq S(x')_{\text{пор}}; \\ \Delta_{1,\ell}^{(0)} = S(x')_{\text{пор}}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 1; \\ \Delta_{1,\ell}^{(1)} = \text{dist}_{1,\ell}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 0, \end{cases}$$

где $O_1^{(\ell)}$ – значение накопленного произведения для одного элемента ℓ -го ККМП числа.

После этого процесс формирования ℓ -го кода-номера для ККМПЧ продолжается.

Очередной этап заключается в добавлении следующего $(k+1; \ell)$ -го элемента, а именно

$$Z_{k+1}^{(\ell)} = \begin{cases} Z_k^{(\ell)} \Delta'_{k+1,\ell} + x_{k+1,\ell}^{(0)}, & \rightarrow \Delta'_{k+1,\ell} \leq S(x')_{\text{пор}}; \\ Z_k^{(\ell)} S(x')_{\text{пор}} + x_{k+1,\ell}^{(0)}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 1; \\ Z_k^{(\ell)} \text{dist}_{k+1,\ell} + \bar{x}_{k+1,\ell}^{(1)}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 0, \end{cases} \quad (9)$$

где $Z_k^{(\ell)}$, $Z_{k+1}^{(\ell)}$ – значения ℓ -го кода-номера, состоящего соответственно из k и $(k+1)$ -го элементов ККМП числа.

При этом величина $O_{k+1}^{(\ell)}$ накопленного произведения для $(k+1)$ -го количества оснований определяется согласно следующей системе:

$$O_{k+1}^{(\ell)} = \begin{cases} \Delta'_{k\ell} O_{k,\ell}^{(\ell)}, & \rightarrow \Delta'_{k\ell} \leq S(x')_{\text{пор}}; \\ S(x')_{\text{пор}} O_{k,\ell}^{(\ell)}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 1; \\ \text{dist}_{k,\ell+1} O_{k,\ell}^{(\ell)}, & \rightarrow \text{mask}_{k\ell} = 0. \end{cases} \quad (10)$$

где $O_k^{(\ell)}$ – величина накопленного произведения для k -го количества оснований.

Общая схема алгоритма представлена на рисунке.

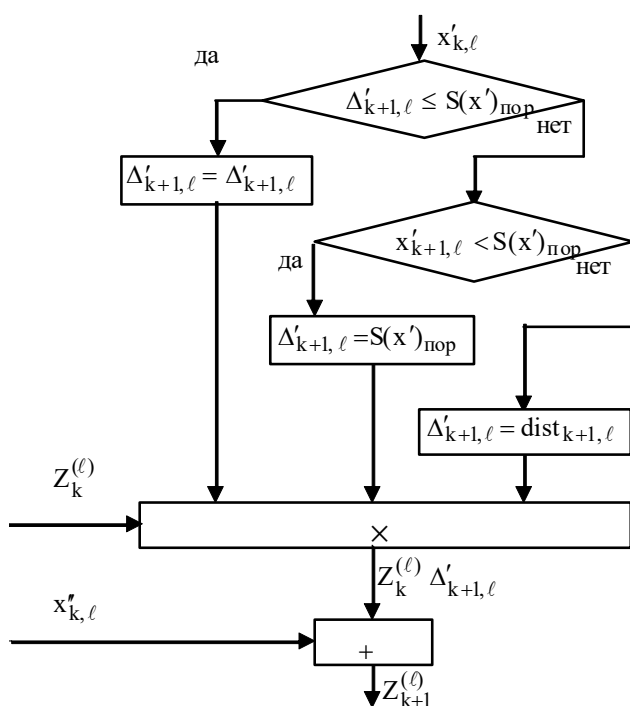


Схема алгоритма формирования кода $Z_{k+1}^{(\ell)}$

Окончание обработки определяется фактом обработки $x''_{k,\ell}$ элемента в ℓ -м столбце.

3. Оценка эффективности метода кодирования применительно к изменениям временных затрат на доставку данных

Для оценки эффективности разработанного метода необходимо рассмотреть изменения информационной интенсивности передаваемых данных кодера, а именно передачи матрицы признаков $\text{Matrix}^{(2)}$ из (1), минимальных значений v_i для каждой строки массива верхнего квантованного уровня из (3) и изменение длины $|Z^{(\ell)}|_2$ кода $Z^{(\ell)}$ для ℓ -го столбца.

Значение кода для ℓ -го столбца будет равно $Z^{(\ell)}$, а величина накопленного произведения – $O^{(\ell)}$. Из этого длину $|Z^{(\ell)}|_2$ кодовой комбинации, содержащей зна-

чение кода $Z^{(\ell)}$, предлагается определять на основе соотношения:

$$|Z^{(\ell)}|_2 = [\ell \log_2 O^{(\ell)}] + 1 \text{ (бит)}.$$

Вследствие мультипликативного порядка вычисления значения кода $Z^{(\ell)}$ для ℓ -го столбца и его длины $|Z^{(\ell)}|_2$ согласно (9) и (10) уменьшение внутритрансформантной структурной избыточности в абсолютных величинах превосходит затраты на передачу минимальных значений v_i для каждой строки массива верхнего квантованного уровня. Минимальные значения v_i для массива верхнего квантованного уровня в созданном методе передаются только строк. Касательно затрат на передачу матрицы признаков

$\text{Matrix}^{(2)}$ стоит отметить их физическое проявление в один бит на каждую компоненту, которая изначально была распределена в массив верхнего квантованного уровня. Передача остальной информации происходит согласно правилу выполнения структурного кодирования [5].

В результате выполнения данного алгоритма предоставляется возможность определить длину кодового слова под код ККМП числа с помощью значений оснований его элементов без применения дополнительной служебной информации. При этом происходит уменьшение внутритрансформантной структурной, вероятностно-статистической избыточности компонент трансформанты аэрофотоснимка, что приводит к уменьшению временных затрат на доведения данных видовых изображений.

4. Выводы

- 1) Разработан метод эффективного кодирования аэрофотоснимков с применением разделения фрагментов аэрофотоснимка по комбинированной схеме.
- 2) Построена концепция квантования массивов раздельного представления в двумерном пространстве с применением матрицы признаков на основе взаимного отношения значений элемента $x'_{k\ell}$ МРП, его диапазона $\Delta_{k\ell}$ и порогового значения квантования $S(x')_{\text{пор}}$.
- 3) Построен алгоритм выполнения одномерного блочного кодирования для образования кода композиционных квантованных с матрицей признаков чисел в двумерном пространстве. Это приводит к увеличению нижней границы раздельного пространства массива верхнего квантованного уровня и уменьшению разброса значений элементов массива, которые относятся к нижнему квантованному уровню. В результате этого достигается уменьшение внутритрансформантной структурной, вероятностно-статистической избыточности компонент трансформанты аэрофотоснимка.
- 4) Выполнено условие касательно недопустимости дополнительных затрат служебной информации, что

суммарно выражается в снижении временных затрат на доведение данных видовых изображений.

Литература: 1. Баранник В.В., Подлесный С.А. Анализ действия кибератак на видеоинформационный ресурс в информационно-телекоммуникационных сетях // АСУ и приборы автоматики. Вып. 169. 2014. С. 16-22. 2. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 3. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб.: Питер, 2006. 958 с. 4. Красильников Н.Н. Цифровая обработка изображений. М.: Вузовская книга, 2011. 320 с. 5. Баранник В.В. Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.К. Гулак, Н.А. Королева // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. Х.: ХНАУ "ХАГ", 2009. Вип. 1. С. 55–61. 6. Баранник В.В. Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 7. Баранник В.В., Сидоренко Н.Ф., Шинкарев В.В. Метод композиции перфорированных неравновесных чисел // АСУ и приборы автоматики. 2009. Вып. 149. С. 30-36.

Transliterated bibliography:

1. Barannik V.V., Podlesnyj S.A. Analiz dejstvija kiberatak na videoinformacionnyj resurs v informacionno-telekomunikacionnyh setjah // ASU i pribory avtomatiki: nauchno-tehnicheskij sbornik. Vyp. 169. H.: HNURE. 2014. S. 16-22.
2. Barannik V.V. Kodirovanie transformirovannyh izobrazhenij v infokommunikacionnyh sistemah / V.V. Barannik, V.P. Poljakov. H.: HUPS, 2010. 212 s.
3. Olifer V.G. Komp'juternye seti. Principy, tehnologii, protokoly: Uchebnik dlja vuzov. / V.G. Olifer, N.A. Olifer. SPb.: Piter, 2006. 958 s.

4. Krasil'nikov N.N. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. M.: Vuzovskaja kniga, 2011. 320 s.

5. Barannik V.V. Metod szhatija izobrazhenij na osnove neravnovesnogo pozicionnogo kodirovanija bitovyh ploskostej / V.V. Barannik, N.K. Gulak, N.A. Koroleva // Rad'oelektronn' ? komp'jutern' sistemi. H.: HNAU "HA?", 2009. Vip. 1. S. 55–61.

6. Barannik V.V. Kodirovanie transformirovannyh izobrazhenij v infokommunikacionnyh sistemah / V.V. Barannik, V.P. Poljakov. H.: HUPS, 2010. 212 s.

7. Barannik V.V., Sidorenko N.F., Shinkarev V.V. Metod kompozicii perforirovannyh neravnovesnyh chisel // ASU i pribory avtomatiki: nauchno-tehnicheskij sbornik. Vyp. 149. H.: HNURE. 2009. S. 30-36.

Поступила в редколлегию 02.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации АСУ Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Тарнополов Роман Викторович, преподаватель кафедры боевого применения и эксплуатации АСУ Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Стасев Сергей Юрьевич, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: технологии кодирования и обеспечения информационной безопасности государства. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. Email: Barannik_V_V@mail.ru