

МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ЗНАЧИМЫХ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАНТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ АЭРОФОТОСНИМКОВ В СИСТЕМЕ ВОЗДУШНОЙ РАЗВЕДКИ

Владимир Баранник, Александр Мусиенко, Денис Тарасенко

В статье рассматриваются актуальные вопросы, связанные с обработкой цифровых аэрофотоснимков в системе воздушной разведки. Полученные цифровые аэрофотоснимки, с помощью бортовых беспилотных летательных комплексов в процессе ведения воздушной разведки, отличаются высокой степенью насыщенности мелкими деталями, имеющие значительные количества информации, достигающие порядка 100 Мбит. Поэтому возникают вопросы, связанные не только с своевременностью передачи аэрофотоснимков в центр обработки информации, но и необходимостью обеспечения целостности информации, а также требуемого уровня сохранения ключевых признаков для дальнейшего дешифрирования аэрофотоснимков. Предлагается предварительно проводить обработку аэрофотоснимков на борту, что приведет к снижению информационной интенсивности при условии сохранения семантически значимой для дешифрирования информации. Разработан метод кодирования блоков аэрофотоснимка с учетом степени семантической насыщенности каждого блока для бортовых беспилотных комплексов воздушной разведки. Основанный на формировании последовательности значимых двухэлементных векторов для структуризованных трансформант. Использование метода позволит уменьшить объем обрабатываемых и передаваемых данных, что приведет к повышению целостности информации в системе воздушной разведки.

Ключевые слова: *воздушная разведка, аэрофотоснимок, кодирование, последовательность, вектор, трансформанта, компонента.*

Введение. В настоящее время в системе воздушной разведки широкое применение получили цифровые аэрофотоснимки, регистрируемые в процессе полета беспилотными бортовыми комплексами. Потребность аэрофотоснимков в системе воздушной разведки возникла в результате возрастания локальных конфликтов, чрезвычайных ситуаций и катаклизмов, специальных операций, организаций и проведения учений, а также различных задач со стороны правительственных и ведомственных (профильных) организаций. К тому же повышение поражающих средств вооруженной борьбы и маневренных возможностей специальных войск привело к увеличению территориальных масштабов различных угроз и ситуаций [1-4]. Здесь, в первую очередь, повышен интерес в получении аэрофотоснимков в реальном масштабе времени. С другой стороны, аэрофотоснимки должны соответствовать достоверности и целостности информации, заданному качеству (разрешающей способности, детальности) сохранения ключевой информации (значимой информации о контурах, границах объектов местности). К тому же повышение поражающих средств вооруженной борьбы и маневренных возможностей специальных войск привело к увеличению территориальных масштабов различных угроз и ситуаций. Это требует не только получения большого объема данных, а и передачи различной информации в реальном масштабе времени, с целью

предотвращения критических ситуаций, своевременности принятия и доведения решений вышестоящим руководством. Повышение информационной интенсивности и временных задержек, приводят к потере целостности информации, и как следствие получении недостоверных данных для дальнейшей их обработки. Таким образом, необходимость обеспечения целостности информации с заданным ее качеством о ключевых признаках дешифрирования, с использованием бортовых беспилотных летательных комплексов в системе воздушной разведки является *актуальной научно-прикладной задачей.*

Одним из способов решения данной задачи является уменьшение объема передаваемых данных с обеспечением необходимого качества информации. Однако необходимо учитывать, что снижение информационной интенсивности с учетом обеспечения необходимого качества информации о ключевых признаках дешифрирования будет в значительной мере зависеть от степени насыщенности блоков аэрофотоснимка мелкими деталями. Значит, возникает необходимость в обработке блоков аэрофотоснимка на борту беспилотного комплекса, учитывая степень насыщенности каждого блока.

Поведенный анализ методов обработки изображений в [5-13] показал, что в существующих методах недостаточно проработана технология, учи-

тывающая семантическую составляющую обрабатываемых блоков аэрофотоснимка. В целом, с одной стороны это приведет к уменьшению времени обработки на этапе кодирования. Однако в конечном счете могут возникнуть вопросы, связанные с нарушением семантического содержания исходного аэрофотоснимка, т.е. нарушение целостности информации.

В настоящее время существующим методам обработки изображений на базе платформ JPEG, JPEG2000 свойственны такие проблемные недостатки [14-18]: равномерный учет элементов изображения не учитывает семантическую нагрузку блоков аэрофотоснимка; снижение разрешающей способности изображения нарушает достижение требуемого уровня детальности объектов воздушной разведки, что приводит к потере информации по всему аэрофотоснимку. Значит, существующие технологии обработки блоков аэрофотоснимка на базе JPEG платформы не обеспечивают целостность и доступность аэрофотоснимков с сохранением информации о ключевых признаках дешифрирования. Поэтому, необходимо создать такой способ кодирования блоков, который позволит: достичь снижения интенсивности передаваемых данных в реальном масштабе времени, на основе полученных классов семантической насыщенности блоков аэрофотоснимка; обеспечить требуемый уровень сохранения целостности информации о ключевых признаках дешифрирования; обеспечить оперативность доставки аэрофотоснимков в системе воздушной разведки.

Разработку новой технологии необходимо формировать с учетом устранения проблемных недостатков относительно кодирования компонентного представления трансформант. На основе этого предлагается разработать технологию обработки трансформант с учетом классов семантической насыщенности блоков, а также внесением в них требуемого уровня сохранения целостности информации. Предложенный подход сможет обеспечить снижение интенсивности передаваемых данных, что приведет к повышению оперативности доставки, целостности и дешифрирования аэрофотоснимков. Таким образом, *целью статьи* является разработка метода кодирования последовательности значимых двухэлементных векторов структурных характеристик трансформанты для повышения целостности, в условиях оперативности и эффективности дешифрирования аэрофотоснимков в системе воздушной разведки.

Концепция кодирования компонент трансформант в форматах JPEG.

В системах обработки информации вопросы, связанные с обработкой цифровых аэрофотоснимков с внесением в них требуемого уровня сохранения целостности, отводится особое место [17-20]. Способы реализации таких технологий применяется в форматах JPEG, JPEG2000, где одним из этапов предварительной обработки блоков аэрофотоснимка, разных классов семантической насыщенности заключается в кодировании компонент трансформант дискретного косинусного преобразования (ДКП). Такая технология позволит в дальнейшем компактно представить блоки аэрофотоснимка, а также подготовить данные для выполнения двоичного представления.

Для преобразования трансформант в технологиях JPEG платформы используются две основные концепции, которые различаются структурными подходами относительно представления трансформант.

Первая концепция основывается на обработке трансформанты в компонентном описании. Особенности обработки трансформанты для компонентного описания состоят в следующем [15, 16]:

1. Большая интегрированность компонентной структуры относительно битовой, что в свою очередь ведет к выявлению большего количества потенциально устраняемой избыточности.

2. Сокращается задержка на выявление закономерностей для двоичных структур. Это обусловлено тем, что:

- для каждой компоненты формируется двоичное представление, длиной n бит (объем обрабатываемых данных для битового представления трансформанты увеличивается в m раз);

- значительное увеличение количества операций для бинаризации каждой компоненты трансформанты.

Вторая концепция осуществляет преобразование трансформанты для двоичного описания.

Концепция кодирования трансформанты для двоичного описания строится с учетом таких особенностей как [4]:

1. Основная энергия исходного сигнала концентрируется в низкочастотных компонентах трансформанты;

2. Для областей, характеризующихся высокочастотными компонентами присуща информация о мелких деталях изображений, что оказывает незначительное влияние на визуальное восприятие изображений, по сравнению с низкочастотными компонентами.

3. Компоненты трансформанты с нулевыми значениями. Для высокочастотных компонент трансформанты, свойственны нулевые значения, которые в дальнейшем обрабатываются диагонально с помощью "зигзаг"- сканирования.

Далее происходит выработка стратегии квантования компонент трансформанты. Здесь, каждая из компонент $Y_{\gamma, \xi}$ трансформанты S подвергается коррекции, в соответствии с коэффициентами квантования. В результате обеспечивается баланс, с одной стороны, между увеличением длины нулевых цепочек q_{χ} компонент трансформанты и ростом степени уменьшения объема передаваемых данных, с другой стороны – повышением эффективности дешифрирования аэрофотоснимков за счет сохранения ключевых и значимых признаков дешифрирования (контура, текстуры и однородности ландшафтных областей). Благодаря этому происходит повышение оперативности доставки информации при заданном качестве дешифрирования. Итогом предложенной стратегии является получение проквантованных компонент трансформанты S' , в соответствии с насыщенностью ключевых признаков.

Таким образом, рассмотренные особенности предварительной обработки трансформант в дальнейших исследованиях предопределили способ компонентного представления трансформанты.

Структурированное представление трансформанты для выделения последовательности значимых двухэлементных векторов.

Суть данного этапа состоит в получении структурированного представления трансформанты с дальнейшим выделением последовательности $\hat{R}_{v_{вкт}}$ значимых двухэлементных векторов, что представляется *первым уровнем двухиерархического кодирования*.

На первом шаге проводится структуризация трансформанты, путем формирования одномерного вектора, т.е. происходит выделение длин q_{χ} цепочек, состоящих из компонент трансформанты, имеющих после квантования нулевые значения.

Далее происходит формирование вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$, состоящего из двух компонент: q_{χ} – длина цепочки нулевых компонент; b_{χ} – значение компоненты отличного от нулевого значения. Таким образом, мы получаем двухэлементный вектор $\Xi_{\chi}^{(2)}$ структурных характеристик трансформанты.

Таким образом, формирование двухэлементных векторов позволит выявить структурные закономерности, характеризующиеся наличием компонент с нулевыми значениями.

Основные особенности, учитывающиеся при обработке двухэлементных векторов:

1. Межкомпонентная векторная взаимосвязь:

– для значимых компонент, имеющих наибольшие значения, будет соответствовать более короткая длина цепочки нулевых компонент;

– для значимых компонент характерен неравномерный закон распределения значений (наибольшую вероятность появления будут иметь компоненты с меньшими значениями).

2. Построение кодового представления для последовательности двухэлементных векторов

Следующим шагом осуществляется построение векторов $\Xi_{\chi}^{(2)}$ в последовательность $\hat{R}_{v_{вкт}}$ значимых двухэлементных векторов. При этом обработке подлежит не вся последовательность $\hat{R}_{v_{вкт}}$ значимых двухэлементных векторов (ДВ), а только та его часть $\hat{R}_{v_{вкт}-2}$, которая не содержит первый и последний вектора $\hat{R}_{v_{вкт}-2} = \{(q_2; b_2), \dots, (q_{\chi}; b_{\chi}), \dots, (q_{v_{вкт}-1}; b_{v_{вкт}-1})\}$. Здесь $v_{вкт}$ – длина последовательности $\hat{R}_{v_{вкт}}$ значимых двухэлементных векторов $\Xi_{\chi}^{(2)}$.

Второй уровень двухиерархического кодирования представляется формированием кодового значения $Z(\Xi_{\chi}^{(2)})$ для каждого вектора как двухэлементного позиционного числа.

Формирование кодового представления значимых двухэлементных векторов $\Xi_{\chi}^{(2)}$ предлагается осуществлять на базе построения кодограммы Ω для последовательности $\hat{R}_{v_{вкт}-2}$ значимых двухэлементных векторов структурных характеристик трансформанты.

Для трансформант в рамках их описания на основе структурного подхода последовательности $\hat{R}_{v_{вкт}-2}$ значимых двухэлементных векторов $\Xi_{\chi}^{(2)}$ присущи следующие закономерности:

1) соседние компоненты q_{χ} и b_{χ} имеют различные значения, т.е.

$$q_{\chi} \neq b_{\chi}, \quad \chi = \overline{2, v_{вкт} - 1}; \quad (1)$$

2) если рассмотреть вектор $\Xi_{\chi}^{(2)}$, полученный в результате структуризации трансформанты, путем формирования одномерного вектора, состоящий из компонент $\{q_{\chi}; b_{\chi}\}$, то компоненты вектора в независимости друг от друга принимают значения соответственно в пределах следующих динамических диапазонов:

$$\begin{cases} 1 \leq q_{\chi} \leq \beta(q); \\ 1 \leq b_{\chi} \leq \beta(b). \end{cases} \quad (2)$$

Для учета закономерностей, задаваемых соотношениями (1) и (2) предлагается подход, заключающийся в рассмотрении компонент $\{q_{\chi}; b_{\chi}\}$ имеющих следующий динамический диапазон:

– для первой компоненты q_{χ} вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$ он будет равен $\beta(q) = \max_{2 \leq \chi \leq v_{\text{вкт}} - 1} \{q_{\chi}\} + 1$, т.к. $q_{\chi} \in [0; \max \{q_{\chi}\}]$;

– для второй компоненты b_{χ} согласно условию (1) вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$ он будет определяться как

$$\beta(b) = \max_{2 \leq \chi \leq v_{\text{вкт}} - 1} \{b_{\chi}\},$$

т.е. уменьшается на единицу. Это обусловлено тем, что возможные значения компоненты b_{χ} будут исключать одно значение, которое соответствует предыдущей компоненте q_{χ} , т.к. $b_{\chi} \in [0; \max \{b_{\chi}\}]$.

Значит, на основе предложенных преобразований для трансформанты формируется двухэлементный вектор $\Xi_{\chi}^{(2)}$, значения которых удовлетворяют следующим условиям:

$$\beta(q) = \max_{q_{\chi}} + 1; \quad \beta(b) = \max_{b_{\chi}}. \quad (3)$$

В этом случае для двухэлементного вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$, можно сформулировать следующую интерпретацию.

Двухэлементный вектор $\Xi_{\chi}^{(2)}$, для компонент которого выполняются условия (3) так, что в общем случае динамический диапазон $\beta(q) \neq \beta(b)$, $\chi = \overline{2, v_{\text{вкт}} - 1}$, называется двухэлементным позиционным числом с неравными соседними элементами (ПЧ) и с системой ограничений $D = \{\beta(q); \beta(b)\}$.

Позиционное кодирование двухэлементного вектора структурированной трансформанты с неравными соседними элементами.

По определению двухэлементное позиционное число с неравными соседними элементами (ДПЧНСЭ) образуется на основе двухкомпонентной составляющей вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$. Где q_{χ} – длина цепочки нулевых компонент; b_{χ} – значение компоненты отличного от нулевого значения.

Формирование кодового описания предлагается осуществлять на базе построения кодовых конструкций для двухэлементных позиционных чисел. Вывод выражения для кодирования ДПЧНСЭ осуществляется в два шага:

1) первый шаг заключается в определении значения кода $Z(\Xi_{\chi}^{(2)})$ двухэлементного вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$ компонент, учитывая ограниченность динамического диапазона $\beta(q), \beta(b)$;

2) на втором этапе выводятся выражения для получения кода двухэлементного позиционного числа с учетом ограничения на равенство q_{χ} и b_{χ} двухэлементного вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$.

Рассмотрим первый шаг процесса кодирования двухэлементного позиционного числа с НСЭ. Кодирование двухэлементного позиционных чисел как двухэлементного вектора $\Xi_{\chi}^{(2)}$ компонент трансформанты задается следующим выражением: $Z(\Xi_{\chi}^{(2)}) = q_{\chi} V(q_{\chi}) + b_{\chi} V(b_{\chi})$. Здесь $V(q_{\chi})$ – весовой коэффициент элемента q_{χ} позиционного числа; $V(b_{\chi})$ – весовой коэффициент элемента b_{χ} позиционного числа. При этом значения весовых коэффициентов $V(q_{\chi})$ и $V(b_{\chi})$ независимо друг от друга определяется как $V(q_{\chi}) = \beta(b)$, где $\beta(b)$ – динамический диапазон, соответствующий компоненте b_{χ} вектора.

Ввиду того, что компонента b_{χ} является последней в двухэлементном векторе $\Xi_{\chi}^{(2)}$ компонент, то весовой коэффициент $V(b_{\chi})$ определяется: $V(b_{\chi}) = 1$. Тогда значение кода $Z(\Xi_{\chi}^{(2)})$ для двухэлементного позиционного числа $\Xi_{\chi}^{(2)}$ определяется по формуле:

$$Z(\Xi_{\chi}^{(2)}) = q_{\chi} \beta(b) + b_{\chi}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет вычислить значение кода $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ для вектора $\Xi_\chi^{(2)}$ компонент без учета условия неравенства между ними. Данное условие, а именно то, что $q_\chi \neq b_\chi$, учитывается на втором шаге построения кодового правила. Соотношение для вычисления кода $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ вектора $\Xi_\chi^{(2)}$ компонент, рассматриваемого как двухэлементное позиционное число с неравными соседними элементами будет иметь следующий вид:

$$Z(\Xi_\chi^{(2)}) = q_\chi \Delta V(q_\chi) + b_\chi \Delta V(b_\chi).$$

Здесь величина $\Delta V(q_\chi)$ определяется как количество допустимых последовательностей предшествующих компоненте b_χ . Величина $\Delta V(q_\chi)$ вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta V(q_\chi) = \begin{cases} q_\chi \beta(b) - \Delta V(q_\chi = q_0), & \rightarrow q_0 < q_\chi; \\ q_\chi \beta(b), & \rightarrow q_0 > q_\chi, \end{cases} \quad (5)$$

где $q_\chi \beta(b)$ – суммарное количество последовательностей (длиной 2), для всех элементов которых, кроме текущего, выполняются ограничения на динамический диапазон и на неравенство соседних элементов;

$\Delta V(q_\chi = q_0)$ – определяет количество запрещенных последовательностей, составленных из 2 элементов.

Тогда $\Delta V(b_\chi)$ будет определяться как количество допустимых последовательностей компонент q_χ и b_χ . Величина $\Delta V(b_\chi)$ вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta V(b_\chi) = \begin{cases} b_\chi V(b_\chi) - \Delta V(b_\chi = q_\chi), & \rightarrow q_\chi < b_\chi; \\ b_\chi V(b_\chi), & \rightarrow q_\chi > b_\chi, \end{cases} \quad (6)$$

где $b_\chi V(b_\chi)$ – суммарное количество последовательностей (длиной 2), для всех элементов которых, кроме текущего, выполняются ограничения на динамический диапазон и на неравенство соседних элементов; $\Delta V(b_\chi = q_\chi)$ – определяет количество запрещенных последовательностей, составленных из 2 элементов.

Следующим шагом определяется кодовое $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ значение для двухэлементного позиционного числа, которое в дальнейшем выстраивается в последовательность $\hat{R}_{\text{вкт}-2}$ значимых двухэлементных векторов структурных характеристик трансформанты [7].

Для этого введем вспомогательную величину η , равную:

$$\eta(q_\chi) = \begin{cases} q_\chi, & \rightarrow q_\chi < q_0; \\ q_\chi - 1, & \rightarrow q_\chi > q_0. \end{cases} \quad (7)$$

$$\eta(b_\chi) = \begin{cases} b_\chi, & \rightarrow b_\chi < q_\chi; \\ b_\chi - 1, & \rightarrow b_\chi > q_\chi. \end{cases}$$

В результате чего, соотношение для кода $Z(\Xi_\chi^{(2)})$ вектора $\Xi_\chi^{(2)}$ компонент примет вид

$$Z'(\Xi_\chi^{(2)}) = \eta(q_\chi)V(q_\chi) + \eta(b_\chi)V(b_\chi). \quad (8)$$

По условия кодирования двухэлементного позиционного числа для первой компоненты должно выполняться два условия:

– на значения компонент, предшествующих элементу q_χ не накладываются ограничения относительно нулевого элемента, т.е. не должно выполняться неравенство $q_0 < q_\chi$;

– обеспечиваться выполнение неравенства $q_0 = \beta(q) > q_\chi$.

Поэтому для компоненты q_χ в качестве предшествующей q_0 выбирается значение $\beta(q)$, равное динамическому диапазону вектора Q , т.е.

$$q_0 = \beta(q). \quad (9)$$

Таким образом, соотношения (6)-(9) позволяют определить кодовое значение для двухэлементного вектора $\Xi_\chi^{(2)}$ компонент, представляющего собой двухэлементное позиционное число с неравными соседними элементами.

Следующим шагом формируется цепочка S , составленная из величин $Z(\Xi_\chi^{(2)})$, которая является обобщенным позиционным числом в базисе структурных ограничений транс-форманты:

$$S = \{Z(\Xi_2^{(2)}); \dots; Z(\Xi_\chi^{(2)}); \dots; Z(\Xi_{\text{вкт}-1}^{(2)})\}.$$

Исходя из этого, происходит формирование обобщенного кодового представления $Z(S)$ с учетом полученных кодовых значений $Z(\Xi_\chi^{(2)})$, что представлено выражением:

$$Z(S) = \sum_{\chi=2}^{\text{вкт}-1} Z(\Xi_\chi^{(2)}). \quad (10)$$

Таким образом, получено обобщенное кодовое представление $Z(S)$ позволит в дальнейшем получить кодограммы для обобщенного позиционного числа.

Завершающим этапом технологии кодирования блоков аэрофотоснимков является формирование кодограммы Ω (двоичное представление), содержащую информацию о кодовом представлении последовательности $\hat{R}_{\text{вкт}-2}$ двухэлементных векторов $\Xi_{\chi}^{(2)}$ структурных характеристик трансформанты.

Полученное соотношение позволяет вычислить код $Z(S)$ для обобщенного позиционного числа в базисе структурных ограничений трансформанты. В это же время, число S формируется как двухуровневое позиционное описание последовательности значимых двухэлементных векторов. Поэтому значение $Z(S)$ кода для двухэлементного позиционного числа в базисе структурных ограничений трансформанты являются кодовым представлением последовательности $Z(\hat{R}_{\text{вкт}-2})$.

Таким образом, кодирования последовательности значимых двухэлементных векторов осуществляется по двухиерархической схеме. На первом уровне происходит формирование структурированного представления трансформанты с дальнейшим выделением последовательности $\hat{R}_{\text{вкр}}$ двухэлементных векторов. Соответственно на втором уровне осуществляется кодовое представление для отдельных двухэлементных векторов, с дальнейшим формированием цепочки S , составленной из значений кодов $Z(\Xi_{\chi}^{(2)})$, которая позволит в конечном итоге построить кодограмму Ω для обобщенного позиционного числа.

Предложенный подход кодирования блоков аэрофотоснимка обеспечивает закодированное представление аэрофотоснимков, уменьшение объема передаваемых данных, получение необходимого качества информации, с учетом степени насыщенности каждого блока, что является необходимым условием для повышения целостности информации, в условиях оперативности и дешифрирования аэрофотоснимков.

Выводы.

1. Обоснована интерпретация последовательности значимых двухэлементных векторов как обобщенных позиционных чисел в базисе структурных ограничений трансформанты, элементами которого являются кодовые значения отдельных векторов, рассматриваемых как двухэлементное позиционное число.

2. В результате получено кодовое выражение для определения кода обобщенных позиционных

чисел в базисе структурных ограничений трансформанты с использованием двухиерархической схемы, где кодирование проводится без потери информации с учетом особенностей значимых двухэлементных векторов, а именно понижения динамического диапазона относительно нулевого уровня.

3. Разработан метод кодирования последовательности значимых двухэлементных векторов структурных характеристик трансформанты для повышения целостности в условиях оперативности и дешифрирования аэрофотоснимков в системе воздушной разведки. Основанный на двухиерархическом кодировании последовательности двухэлементных векторов структурных характеристик трансформанты. Преимущество разработанного метода состоит в двоичном представлении двухэлементных векторов структурированной трансформанты; построении последовательности из двухэлементных векторов; формирование кодограммы, содержащую информацию о кодовых значениях двухэлементных векторов структурированной трансформанты.

Новизна.

Разработан метод кодирования последовательности значимых двухэлементных векторов для повышения целостности на основе выявления значимых ключевых признаков в спектральной области. Отличительные моменты заключаются в том, что: оценка дешифровочной значимости проводится по структурным характеристикам спектральной области с последующим адаптивным двухиерархическим кодированием. Это позволяет повысить целостность в условиях оперативности и эффективности дешифрирования аэрофотоснимков в системе воздушной разведки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. Мосов, *Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах. Монография.* К.: Изд. дом. «Румб», 2008, 248 с.
- [2]. А. Алімпієв, В. Бараннік, Т. Белікова, С. Сідченко, "Теоретичні основи створення технологій протидії прихованим інформаційним атакам в сучасній гібридній війні", *Системи обробки інформації.* Харків. ХНУПС, № 4(150), С. 113-121, 2017.
- [3]. Р. Гонсалес, Р. Вудс, *Цифровая обработка изображений,* М.: Техносфера, 2006, 1072 с.
- [4]. В. Кашкин, *Цифровая обработка аэрокосмических изображений. Консп. лекц.* Красноярск, 2008, 121 с.
- [5]. С. Шульгин, А. Красноруцкий, О. Кулица, "Исследование характеристик сервиса дистанционного предоставления видеослужб при управлении в кризисных ситуациях", *Открытые компьютерные информационные интегрированные технологии,* №70, С. 263-270, 2015.

- [6]. Дж. Мiano, *Форматы и алгоритмы сжатия изображений в действии: учебное пособие*, М.: Триумф, 2003, 36 с.
- [7]. В. Лидовский, *Теория информации*, Компания Спутник+, 2004, 111 с.
- [8]. O. Yudin, O. Frolov, R. Ziubina, "Quantitative quality indicators of the invariant spatial method of compressing video data", *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), Second International Scientific-Practical Conference*, pp. 227-229, 2015, doi.org/ 10.1109/ info commst.2015.7357320.
- [9]. Н. Красильников, *Цифровая обработка изображений*, М.: Вузовская книга, 2011, 320 с.
- [10]. O. Stankiewicz, K. Wegner, D. Karwowski, J. Stankowski, K. Klimaszewski, T. Grajek, "Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction", *International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Poznan, pp. 1-6, 2017.
- [11]. Y. Zhang, S. Negahdaripour, Q. Li, "Error-resilient coding for underwater video transmission", *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, Monterey, CA, pp. 1-7, 2016.
- [12]. S. Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang., S. Ma, W. Gao, "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression", *Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, 2017.
- [13]. Д. Ватолін, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин, *Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео: учебное пособие*, М.: ДИАЛОГ, МИФИ, 2003, 384 с.
- [14]. V. Barannik, Yu. Ryabukha, S. Podlesnyi, "Structural slotting with uniform redistribution for enhancing trustworthiness of information streams", *Telecommunications and Radio Engineering, Elektrosvyaz and Radiotekhnika*, no. 76 (7), pp. 607-615, 2017, doi: /10.1615/ TelecomRadEng.v76.i7.40.
- [15]. A. Alimpiev, V. Barannik, S. Sidchenko, "The method of cryptocompression presentation of videoinformation resources in a generalized structurally positioned space", *Telecommunications and Radio Engineering, English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika*, no. 76 (6), pp. 521-534, 2017, doi: 10.1615/ TelecomRadEng.v76.i6.60.
- [16]. V. Barannik, A. Krasnorutskiy, Yu. Ryabukha, D. Okladnoy, "Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation", *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, pp. 736, 2016, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452167.
- [17]. В. Хаханов, И. Побеженко, "Модели и архитектура вейвлет преобразований для стандарта JPEG 2000", *АСУ и приборы автоматизации*, № 2(139), С. 4-12, 2007.
- [18]. П. Гуржий, Ю. Бойко, В. Третьяк, "Адаптивне одноосновне позиційне кодування масивів довжин серій двійкових елементів", *Радиоелектроніка і інформатика*, № 2, С. 12-17, 2013.
- [19]. В. Баранник, Ю. Рябуха, "Концептуальный метод повышения безопасности дистанционного видеонформационного ресурса в системе аэромониторинга кризисных ситуаций на основе интеллектуальной обработки видеокладов", *Радиоэлектронные компьютерные системы*, № 3, С. 19-21, 2015.
- [20]. В. Баранник, А. Мусиенко, "Метод кластеризации блоков аэрофотоснимка в двухпризнаковом структурном пространстве в системе обработки информации", *АСУ и приборы автоматизации*, № 173, С. 57-67, 2016.

REFERENCES

- [1]. S. Mosov, *Aerokosmicheskaya razvedka v sovremennykh voennykh konfliktax. Monografiya*. K.: Izd. dom. «Rumb», 2008, 248 p.
- [2]. A. Alimpiyev, V. Barannik, T. Belikova, S. Sidchenko, "Tretychni osnovy stvorenniya tehnologiy protydyiy prykovanyam informacijnym atakam v suchasnyj gibrydnyj vijni", *Systemy obrobky informaciyi*. Kharkiv. KHNUPS, no. 4(150), pp. 113-121, 2017.
- [3]. R. Gonzalez, R. Woods, *Digital image processing*, M.: Technosfera, 2006, 1072 p.
- [4]. V. Kashkin, *Digital processing of aerospace images, Compendium of lectures*, Krasnoyarsk: IPK SFU, 2008, 121 p.
- [5]. S. Shulgyn, A. Krasnorutskiy, O. Kulytsa, "Issledovanie harakterystik servysa dystancyonnogo predostavleniya videouslug pry upravlenii v krizisnyh situaciyax", *Otkrytyye kompyuternye informacionnye integyrovannye tehnologyi*, no. 70, pp. 263-270, 2015.
- [6]. Dzh. Miyano, *Formaty i algoritmy szhatiya izobrazhenij v dejstvii: uchebnoe posobyie*, М.: Tryiumf, 2003, 36 p.
- [7]. V. Lidovskiy, *Teoriya informaciyi*, Kompaniya Sputnik+, 2004, 111 p.
- [8]. O. Yudin, O. Frolov, R. Ziubina, "Quantitative quality indicators of the invariant spatial method of compressing video data", *Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), Second International Scientific-Practical Conference*, pp. 227-229, 2015, doi.org/10.1109/infocommst.2015.7357320.
- [9]. N. Krasilnikov, *Cyfrovaya obrabotka izobrazhenij*, М.: Vuzovskaya kniga, 2011, 320 p.
- [10]. O. Stankiewicz, K. Wegner, D. Karwowski, J. Stankowski, K. Klimaszewski, T. Grajek, "Encoding mode selection in HEVC with the use of noise reduction", *International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)*, Poznan, pp. 1-6, 2017.
- [11]. Y. Zhang, S. Negahdaripour, Q. Li, "Error-resilient coding for underwater video transmission", *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, Monterey, CA, pp. 1-7, 2016.
- [12]. S. Wang, X. Zhang, X. Liu, J. Zhang., S. Ma, W. Gao, "Utility-Driven Adaptive Preprocessing for Screen Content Video Compression", *Transactions on Multimedia*, vol. 19, no. 3, pp. 660-667, 2017.
- [13]. D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin, *Metody szhatiya dannyh. Ustrojstvo arhivatorov, szhatiye izobrazhenij i video: uchebnoe posobyie*, М.: DIALOG, MIFY, 2003, 384 p.
- [14]. V. Barannik, Yu. Ryabukha, S. Podlesnyi, "Structural slotting with uniform redistribution for enhancing trustworthiness of information streams", *Telecommunications and Radio Engineering, Elektrosvyaz and Radiotekhnika*, no. 76 (7), pp. 607-615, 2017, doi: /10.1615/ TelecomRadEng.v76.i7.40.
- [15]. A. Alimpiev, V. Barannik, S. Sidchenko, "The method of cryptocompression presentation of videoinformation resources in a generalized structurally positioned space", *Telecommunications and Radio Engineering, English translation of Elektrosvyaz and Radiotekhnika*, no. 76 (6), pp. 521-534, 2017, doi: 10.1615/ TelecomRadEng.v76.i6.60.

- [16].V. Barannik, A. Krasnorutskiy, Yu. Ryabukha, D. Okladnoy, "Model intelligent processing of aerial photographs with a dedicated key features interpretation", *Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET)*, Lviv, pp. 736, 2016, doi: 10.1109/TCSET.2016.7452167.
- [17].V. Hahanov, I. Pobezenko, "Modeli i arhitektura veivlet preobrazovaniy dlya standarta JPEG 2000", *ASU i pribory avtomatiki*, no. 2(139), pp. 4-12, 2007.
- [18].P. Gurzhyj, Yu. Bojko, V. Tretyak, "Adaptivne odnoosnovne pozycijne koduvannya masyviv dovzhyn serij dvijkovyh elementiv", *Radioelektronika i infor-matika*, no. 2, pp. 12-17, 2013.
- [19].V. Barannyk, Yu. Ryabuha, "Konceptualnyj metod povysheniya bezopasnosti dystancyonnogo videoinformacionnogo resursa v sisteme aeromonitoringa krizisnyh situacij na osnove intellektualnoj obrabotki videokadrov", *Radioelektronniye kompyuter-nye sistemy*, no. 3, pp. 19-21, 2015.
- [20].V. Barannik, A. Musienko, "Metod klasterizacii blokov aerofotosnimka v dvuhpryznakovom strukturnom prostanstve v sisteme obrabotki informaciyi", *ASU i pribory avtomatiki*, no. 173, pp. 57-67, 2016.

МЕТОД КОДУВАННЯ ЗНАЧУЩИХ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАНТИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ АЕРОФОТОЗНІМКІВ В СИСТЕМІ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ

У статті розглядаються актуальні питання, пов'язані з опрацюванням цифрових аерофотознімків в системі повітряної розвідки. Отримані цифрові аерофотознімки, за допомогою бортових безпілотних літальних комплексів в процесі ведення повітряної розвідки, відрізняються високим ступенем насиченості дрібними деталями, що мають значні кількості інформації, що досягають близько 100 Мбіт. Тому виникають питання, пов'язані не тільки з своєчасністю передачі аерофотознімків в центр обробки інформації, але і необхідністю забезпечення цілісності інформації, а також необхідного рівня збереження ключових ознак для подальшого дешифрування аерофотознімків. Пропонується попередньо проводити обробку аерофотознімків на борту, що призведе до зниження інформаційної інтенсивності за умови збереження семантично значущої для дешифрування інформації. Розроблено метод кодування блоків аерофотознімка з урахуванням ступеня семантичної насиченості кожного блоку для бортових безпілотних комплексів повітряної розвідки. Заснований на формуванні послідовності значущих двохелементних векторів для структуризованих трансформант. Використання методу дозволить зменшити обсяг оброблюваних і переданих даних, що призведе до підвищення цілісності інформації в системі повітряної розвідки.

Ключові слова: повітряна розвідка, аерофотознімок, кодування, послідовність, вектор, трансформанта, компонента.

METHOD OF SIGNIFICANT STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF TRANSFORMANT CODING FOR INCREASE IN INTEGRITY OF AERIAL PHOTOGRAPHS IN SYSTEM OF AIR RECONNAISSANCE

In article the topical issues connected with processing of digital aerial photographs in system of air reconnaissance are considered. The received digital aerial photographs, by means of onboard pilotless complexes in the course of conducting air reconnaissance, differ in high degree of a saturation in fine details, having significant amounts of information reaching about 100 Mbit. Therefore, there are questions, connected not only with timeliness of transfer of aerial photographs to the center of information processing, but also need of ensuring the required level of preservation of key signs for further decryption of aerial photographs. It is offered to carry out previously processing of aerial photographs onboard that will lead to decrease in information intensity on condition of saving information, semantic significant for decryption. The method of coding of blocks of an aerial photograph taking into account degree of a semantic saturation of each block is developed for onboard pilotless complexes of air reconnaissance. Based on formation of the sequence of significant two-element vectors for the structured transformants. Use of a method will allow to reduce the volume of the processed and transmitted data that will bring to increase in integrity of information in system of air reconnaissance.

Keywords: air reconnaissance, aerial photograph, coding, sequence, vector, transformant, component.

Баранник Володимир Вікторович, доктор технічних наук, професор, начальник кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

E-mail: Barannik_V_V@mail.ru.

Баранник Владимир Викторович, доктор технических наук, профессор, начальник кафедры Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба.

Barannik Vladimir, Doctor of Science (eng.), Professor, chief of chair, Kharkiv National University of Aircraft of the name of Ivan Kozhedub.

Мусієнко Олександр Павлович, ад'юнкт науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

E-mail: Healsport@yahoo.com.

Мусиенко Александр Павлович, адъюнкт научно-организационного отдела Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба.

Musienko Alexander, adjunct department of the Kharkiv National University of Aircrafts of the name of Ivan Kozhedub.

Тарасенко Денис Анатолійович, аспірант Черкаського державного технологічного університету.

E-mail: taracenko@gmail.com.

Тарасенко Денис Анатоліевич, аспірант Черкаського державного технологічного університету.

Tarascenko Denis, graduate student of Cherkasy State Technological University.