

СИСТЕМИ ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник,

доктор технических наук, профессор,

А.А. Красноруцкий,

И.И. Бенера

МЕТОДОЛОГИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУРНО-ВЕСОВОГО КОДИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАНТ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Обосновываются направления совершенствования технологии сжатия бинарного описания трансформант в рамках позиционного структурно-весового кодирования последовательностей одномерных длин серий двоичных областей. Изложено формирование условий эффективного совершенствования позиционного структурно-весового кодирования для обработки массивов длин серий двоичных элементов бинарного описания трансформант. Рассматриваются особенности реализации технологии позиционного структурно-весового кодирования бинаризированной трансформанты.

Ключевые слова: позиционное структурно-весовое кодирование, трансформанта.

Обґрунтовуються напрями вдосконалення технології стискування бінарного опису трансформант у рамках позиційного структурно-вагового кодування послідовностей одновимірних довжин серій двійкових областей. Викладено формування умов ефективного вдосконалення позиційного структурно-вагового кодування для обробки масивів довжин серій двійкових елементів бінарного опису трансформант. Розглядаються особливості реалізації технології позиційного структурно-вагового кодування бінаризованої трансформанти.

Ключові слова: позиційне структурно-вагове кодування, трансформанта.

The directions of the perfection of technology of the compression of binary description of transforms within the limits of positional item structurally-weight coding of the sequences of one-dimensional lengths of binary areas series are proved. Forming of the conditions of an effective perfection of item structurally-weight coding, for the processing of files of lengths of series of binary elements of the binary description of transforms is stated. Features of the realization of the technology of item structurally-weight coding of a binary transform are considered.

Keywords: position structural gravimetric encoding, transform.

Телекомунікаційні системи в сфері надання інформаційних послуг характеризуються необхідністю забезпечувати обмін відеотрафіком на значительные расстояния. При этом характеристики сети являются неоднородными и динамично изменяющимися. Это обуславливает актуальность тематики исследований, связанной с контролем битовой скорости видеотрафика потока [1–3]. В связи с этим, ключевым механизмом является технология снижения интенсивности битового потока в условиях сохранения заданного уровня информационного содержания [4]. В работе [5] предлагается направление, основанное на компактном представлении трансформант, представленных в бинарном виде. Для сокращения избыточности в таких трансформантах предлагается использовать позиционное структурно-весовое кодирование. В этом случае требуется обеспечить следующие условия: исключить неконтролируемые потери информации о двоичных объектах бинарного описания трансформант; сократить количество служебной информации, необходимой для устранения неконтролируемых потерь информации; снизить количество операций для реализации технологии кодирования бинаризированной обработки трансформант. Поэтому *цель исследований статьи* состоит в создании методологии совершенствования структурно-весового кодирования бинаризированных трансформант.

1. Анализ методов совершенствования эффективности использования систем компрессии на базе позиционного структурно-весового кодирования

Для повышения эффективности использования систем компрессии относительно качества предоставления видеотрафика необходимо обеспечить совершенствование технологии кодирования бинарного описания трансформанты. Такое совершенствование заключается в том, чтобы:

1) снизить битовую скорость компрессионного потока для заданного уровня качества визуального восприятия разжатых изображений; длины кодового слова (локально-равномерный принцип); количества служебных данных, определяемого минимально необходимым количеством для проведения кодирования;

2) уменьшить время задержки на кодирование битового представления трансформант путем сокращения количества операций на обработку трансформант за счет выявления закономерностей в смежных процедурах кодирования.

2. Особенности реализации технологии позиционного структурно-весового кодирования бинаризированной трансформанты.

Первая особенность. Позиционные структурно-весовые числа $A^{(p)}$ строятся на основе отдельных столбцов массива $A_{k,u}$ длин бинарных серий, т.е. $A_{k,u} \rightarrow \{A^{(1)}, \dots, A^{(p)}, \dots, A^{(P)}\}$. Здесь ПСВ число $A^{(p)}$ определяется в зависимости от индекса столбца следующим образом:

$$A^{(p)} = \begin{cases} \{l_{1,p}, \dots, l_{s,p}, \dots, l_{S,p}\}, & \rightarrow p \leq P - 1; \\ \{l_{1,p}, \dots, l_{s,p}, \dots, l_{s',p}\}, & \rightarrow p = P. \end{cases}$$

Величина s' в данной формуле является количеством элементов в последнем столбце массива $A_{k,u}$. Тогда в соответствии с формулой для кодового отображения полиадического числа строятся P позиционных структурно-весовых кодов $\{C_1, \dots, C_p, \dots, C_P\}$:

$$C_1 = \sum_{s=1}^S \ell_{s,1} \prod_{\gamma=s+1}^S g_{\gamma}; \dots C_p = \sum_{s=1}^S \ell_{s,p} \prod_{\gamma=s+1}^S g_{\gamma}; \dots C_P = \sum_{s=1}^{s'} \ell_{s,P} \prod_{\gamma=s+1}^{s'} g_{\gamma}.$$

Вторая особенность. Схема кодирования ПСВ чисел реализуется по принципу формирования весовых коэффициентов старших элементов. Кодирование проводится для старшего элемента относительно необработанных элементов ПСВ числа. Отсюда для исключения случаев неконтролируемой потери информации организуются следующие принципы обработки:

1) длина S ПСВ числа выбирается из расчета непереполнения кодового слова максимально допустимой длины V_{\max} . Величина S определяется по формуле $S = V_{\max} / ([\log_2 nm] + 1)$. Здесь $n \times m$ – линейные размеры бинарных плоскостей трансформанты, n – количество столбцов, а m – количество строк. Это позволяет сформировать столбцы массива длин бинарных серий так, что количество $V(C_p)_c$ рядов не превысит максимально допустимую длину кода $V(C_p)_c \leq S([\log_2 mn] + 1) \leq V_{\max}$;

2) кодовое слово формируется по локально-равномерному (сегментно-неравномерному) принципу на основе информации о векторе G оснований ПСВ числа. Тогда максимальное количество бит, необходимое на представление кода ПСВ чисел, элементы которых g_s соответствуют системе оснований G , $g_s = \max_{1 \leq p \leq P'} \{\ell_{s,p}\} + 1$, будет равно $v(\max)_c = [\log_2(\prod_{s=1}^S g_s - 1)] + 1$.

Отсюда длина V_c кодового слова для одного кода ПСВ числа по локально-равномерному принципу вычисляется по формуле $V_c = [\log_2(g_1 W_1 - 1)] + 1$. С одной стороны данные подходы позволяют компактно представить последовательности длин бинарных серий, и исключить неконтролируемые потери информации из-за переполнения кодового слова максимально допустимой длины. Однако с другой стороны существующие принципы реализации ПСВ кодирования имеют недостатки, влияющие на наличие избыточности, что приводит к повышению битовой скорости сжатого представления трансформанты.

Формирование методологической базы реализации структурно-весового кодирования

Первый недостаток. В случае ограниченного значения максимально допустимой длины V_{\max} кодового слова в соответствии с формулой (2) длина S столбца массива длин бинарных серий будет сокращаться, образуя большое количество равномерных кодов для ПСВ чисел равномерной и ограниченной длины, т.е. $S = \text{const} \rightarrow \min$, а $P \rightarrow \max$.

Рассмотрим влияние такого условия на величину битовой скорости. Допустим, что на обработку поступают два ПСВ числа $A^{(1)} = \{\ell_{s,1}\}$ и $A^{(2)} = \{\ell_{s,2}\}$, длиной S элементов и системой оснований $G = \{g_1, \dots, g_s, \dots, g_S\}$. Формируются

$$\text{два ПСВ кода, а именно } C_1 = \sum_{s=1}^S \ell_{s,1} \prod_{\gamma=s+1}^S g_{\gamma} \text{ и } C_2 = \sum_{s=1}^S \ell_{s,2} \prod_{\gamma=s+1}^S g_{\gamma}.$$

В условиях существующего принципа кодообразования суммарная длина $V_{1,2}$ кодовых слов (битовая скорость) будет равна $V_{1,2} = V(C_1)_c + V(C_2)_c = 2V_c$. (бит). Допустим теперь, что на основе двух ПСВ чисел образуется одно число, длиной $S' = S_1 + S_2$ и системой оснований $G' = \{g_1, \dots, g_s, \dots, g_S, g_1, \dots, g_s, \dots, g_S\}$.

Другими словами формується ПСВ число $A'_{1,2}$ с расширенной системой оснований G' . Согласно соотношению для определения кодового отображения C_p полиадического числа значение его кода $C'_{1,2}$ будет равно:

$$C'_{1,2} = \left(\sum_{s=1}^S \ell_{s,1} \prod_{\gamma=s+1}^S g_\gamma \right) \prod_{\gamma=1}^S g_\gamma + \sum_{s=1}^S \ell_{s,2} \prod_{\gamma=s+1}^S g_\gamma = C_1 g_1 W_1 + C_2.$$

Здесь $g_1 W_1 = \prod_{\gamma=1}^S g_\gamma$.

Количество $V'_{1,2}$ двоичных разрядов на представление кода $C'_{1,2}$ в расширенной системе оснований G' будет равно $V'_{1,2} = [\log_2(C_1 g_1 W_1 + C_2)] + 1$.

Без потери общности можно допустить, что $C_1 \neq 0$. Тогда с учетом соотношения $C_p \leq \left(\prod_{s=1}^S g_s \right) - 1$ будет выполняться неравенство $C_2 < g_1 W_1$, величина $V'_{1,2}$ оцениваться как $V'_{1,2} \approx [\log_2(C_1 g_1 W_1)] + 1 = [\log_2 C_1 + \log_2 g_1 W_1] + 1$. Поскольку $V_c = [\log_2(g_1 W_1 - 1)] + 1$ то $V'_{1,2} \approx [\log_2 C_1] + 1 + V_c = V(C_1) + V_c$. (бит).

В тоже время по существующему условию кодообразования выполняется неравенство $[\log_2 C_1] + 1 < V_c$, следовательно $V'_{1,2} < 2V_c = V_{1,2}$. Значит, в результате формирования расширенного ПСВ числа достигается снижение битовой скорости.

Вид такой структурной избыточности обусловлен неравномерностью размеров структурных составляющих бинарного представления трансформанты. А вот в результате существующего принципа формирования ПСВ чисел и выбора длины кодового слова такой вид избыточности сокращается не полностью. Количество R_v избыточности равно $R_v = V(v)'_c - v V_c$, где $V(v)'_c$ – длина кодового слова расширенного ПСВ числа, включающего v -е количество исходных ПСВ чисел; $v V_c$ – суммарный объем кодовых слов, сформированных для исходных ПСВ чисел по отдельности.

На рис. 1. показана оценка битовой скорости v_c сжатого описания сегмента с учетом дополнительных затрат на представление максимальной длины бинарной серии и наличия неустраненной структурной избыточности.

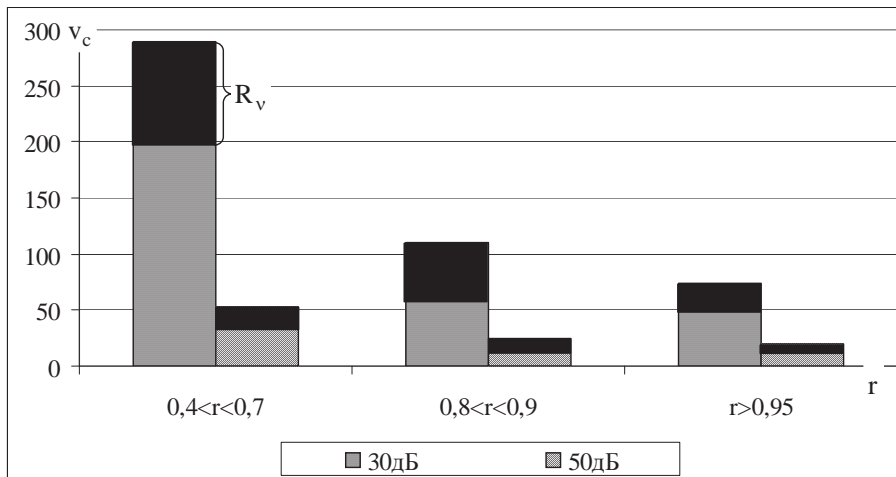


Рис. 1. Зависимость величины v_c от уровня искажений

Расширение длины ПСВ чисел проводилось исходя из условия заданной длины кодового слова, равного 64 бит. Анализ результатов исследований позволяет заключить, что использование кодообразования для расширенного ПСВ числа обеспечит сокращение битовой скорости компактно представленного сегмента изображения в среднем на 20–50 % в зависимости от их степени насыщенности и уровня внесенных искажений.

Таким образом, формирование единого кода для расширенного ПСВ числа имеет потенциал для дополнительного снижения битовой скорости сжатого представления. Для повышения количества устраняемой структурной избыточности необходимо разработать механизм расширения длины ПСВ числа, для которого будет формироваться единый код.

Второй недостаток. Как показывает анализ выражения для вычисления среднего количества $\bar{v}(\max)_b$ бит на один элемент ДСТ зависит от длины выявляемой бинарной серии. С ростом длины $\ell_{s,p}$ бинарной серии снижается среднее количество $\bar{v}(\max)_b$ бит сжатого представления, приходящегося на один элемент двоичного формата трансформанты, т.е. повышается степень сжатия

$$\bar{v}(\max)_b \sim \frac{1}{\ell_{s,p}}.$$

Для увеличения длины бинарной серии необходимо учитывать наличие структур нулевых элементов включающих несколько битовых плоскостей ДСТ. Например, такая ситуация проявляется для старших битовых плоскостей, соответствующих высокочастотным компонентам. В тоже время для существующего принципа образования длины кодового слова необходимо накладывать ограничения на размеры областей, в которых допускается выявление бинарной серии. Выявление бинарной серии ограничено пределами отдельных битовых плоскостей ДСТ, т.е. $\ell_{s,p} \leq n \times m$. Соответственно это приводит к наличию структурной избыточности, обусловленной дроблением серий нулевых элементов ДСТ. В свою очередь это приводит к снижению степени сжатия.

Если снять ограничения на области выявления серий, то их длина ℓ может превышать размеры двоичных плоскостей и принимать значения в диапазоне $1 \leq \ell \leq dnm$, где d – количество битовых плоскостей для ДСТ. В этом случае для определения длины S столбца массива ДБС в условиях, когда длина кодового слова выбирается по принципу не превышения максимально-допустимой длины V_{\max} , используется следующее выражение $S = V_{\max} / ([\log_2 \ell_{\max}] + 1)$. Здесь ℓ_{\max} – максимальная длина бинарной серии, выявленная для ДСТ. Отсюда следует, что:

для правильного определения длины кодового слова на приемной стороне необходимо дополнительно передавать информацию о величине ℓ_{\max} , что приводит к увеличению объема сжатого представления трансформанты;

если $\ell_{\max} > nm$, то длина ПСВ числа будет сокращаться, а их количество P соответственно будет увеличиваться, т.е. $S \leq V_{\max} / ([\log_2 nm] + 1)$. Это повлечет за собой увеличение количества ПСВ кодов, и, как следствие, рост избыточности R_v , обусловленной ограниченным учетом структурной неравномерности ДСТ.

Для устранения таких недостатков в условиях формирования кодовых слов равномерной длины необходимо отказаться от принципа построения ПСВ чисел

равномерной длины. Это позволит формировать кодовые слова для ПСВ чисел содержащих от одного до $S(P-1)+s'$ элементов массива бинарных серий. Длина D ПСВ числа будет неравномерной, и изменяться в пределах

$$1 \leq D \leq S(P-1)+s',$$

где $S(P-1)$ – количество элементов в полных столбцах массива длин бинарных серий; s' – количество элементов в последнем столбце.

Принцип выбора неравномерной длины ПСВ числа позволит создать потенциал для одновременного снятия ограничений на области выявления бинарных серий, и на линейный размер массива ДБС.

Третий недостаток. Существующий принцип кодообразования заключается в формировании кодового слова, длина которого не должна превышать максимально допустимую длину V_{\max} . Однако часто для прикладных областей существует необходимость формировать кодовое слово с заранее заданной длиной V_{ic} . Такая ситуация возможна, когда:

- 1) требуется заполнить информационную часть заданной длины пакета;
- 2) жестко прописывается длина кода, исходя из: особенностей вычислительного процесса; особенностей обеспечения заданной битовой скорости; обеспечения равномерной длины кода для всех сегментов изображения.

В условиях существующего принципа кодообразования для реализации такого требования необходимо выбирать длину V_c'' кодового слова равную V_{\max} , где $V_{\max} = V_{ic}$. Только в этом случае можно обеспечить выполнение выдвинутого требования. Следовательно, выполняется условие: $V_c'' = V_{\max} = V_{ic}$. Но с другой стороны будет выполняться неравенство $V_c'' > S([\log_2 m n]+1)$. Отсюда формируется количество кодовой избыточности R_c , обусловленное несовместимостью (несоответствием) существующего принципа кодообразования для ПСВ чисел с требованием формирования заранее выбранной длины кодового слова. Это проявляется на этапах:

- 1) выбора равномерной длины ПСВ числа на базе столбца массива бинарных серий, что приводит к наличию кодовой разницы $V_c'' > S([\log_2 m n]+1)$;
- 2) выбора длины кодового слова для отдельных столбцов массива длин бинарных серий, что приводит к наличию кодовой разницы $S([\log_2 m n]+1) > V_c$.

В результате появляется количество кодовой избыточности, вычисляемое как разность между длиной V_c'' кодового слова в соответствии с требованием заранее выбранной длины и длиной V_c кодового слова, определяемой на базе существующего принципа кодообразования $R_c = V_c'' - V_c$. (бит).

Принцип кодообразования, обеспечивающий механизм заполнения кодового слова заданной длины, т.е. сокращающий количество незначимых (нулевых) старших разрядов кодового слова, будет называться принципом кодообразования по максимальному заполнению кодового слова.

Четвертый недостаток. Существующий принцип кодообразования позволяет формировать кодовые слова равномерной длины только в пределах отдельных сегментов изображений. Между сегментами длины кодовых слов могут быть неравномерными. Длина V_c кодового слова и их количество P определяется на основе вектора оснований элементов ПСВ чисел, и не является заранее известной на приемной стороне. Для каждой трансформанты, представленной в двоичном формате, строится свой вектор оснований G . Поэтому количество и длина кодовых

слов для разных сегментов будут разными. Это приводит к тому, что длина $v(\tau)_c$ кодовой конструкции τ -го сегмента, формируемая на основе кодовых слов ПСВ чисел, будет неравномерной и заранее неизвестной, т.е. $v(\tau)_c = P_\tau V_{c,\tau}$ и $v(\tau)_c = \text{var}$, где $v(\tau)_c$ – длина кодовой конструкции сжатого представления τ -го сегмента; P_τ – количество ПСВ чисел для τ -го сегмента; $V_{c,\tau}$ – длина кодового слова ПСВ числа τ -го сегмента.

Начальная позиция $\varphi(\tau+1; \tau)_0$ кодовой конструкции очередного $(\tau+1)$ -го сегмента относительно начала кодовой конструкции текущего τ -го сегмента, определяется как $\varphi(\tau+1; \tau)_0 = v(\tau)_c + 1$.

Из этого можно сделать выводы, что правильное (безошибочное) определение границ кодовых конструкций сжатого представления сегментов зависит от безошибочности выявления размеров и начальных позиций кодовых конструкций всех предшествующих сегментов. Начальная позиция $\varphi(\tau)_0$ кодовой конструкции сжатого представления для τ -го сегмента относительно начала сжатого представления всего изображения определяется по следующей формуле:

$$\varphi(\tau)_0 = 1 + \sum_{\xi=1}^{\tau-1} v(\xi)_c,$$

где $\sum_{\xi=1}^{\tau-1} v(\xi)_c$ – суммарный объем кодовых конструкций сжатого представления всех сегментов, предшествующих τ -му сегменту.

Таким образом, мы можем утверждать, что ошибка в определении границ (размеров) кодовой конструкции хотя бы одного сегмента приводит к появлению искажений для определения границ кодовых конструкций сжатого представления всех последующих сегментов.

Выводы

1. Обоснована концептуальная основа метода сжатия трансформанты в двоичном представлении, базирующаяся на кодировании битового представления трансформанты с учетом выявленных закономерностей двоичных структур на основе позиционного структурно-весового кодирования. В этом случае реализуется интегрированное представление взвешенных структурных составляющих двоичного формата трансформанты. Причем весовые характеристики структурных составляющих зависят от их позиционирования в ДСТ. Это позволяет учитывать неравномерность динамических диапазонов длин бинарных серий, расположенных как в пределах одной двоичной плоскости, так и для различных плоскостей ДСТ.

2. Построена технология ПСВ кодирования, которая обладает двумя механизмами компенсации влияния структурных особенностей двоичного формата трансформанты на количество бит сжатого представления, а именно: формирование длин для бинарных серий; построение системы оснований ПСВ числа для каждого массива длин бинарных серий. Это приводит к снижению битовой скорости сжатого представления ДСТ для различного структурного содержания двоичного формата трансформанты.

3. Сжатие изображений в результате позиционного структурно-весового кодирования достигается за счет сокращения следующих видов избыточности:

структурной избыточности, обусловленной наличием бинарных серий в двоичном формате трансформанты; комбинаторной избыточности, вызванной наличием неравномерности в длинах бинарных серий как для двоичных плоскостей, так и между ними.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.] // Праці УНДІРТ. – 2000. – № 3. – С. 3–40.
2. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб. : Питер, 2006. – 958 с.
3. *Gonzales R.C.* Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. – Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 2002. – 779 p.
4. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. – Х. : ХУПС, 2010. – 212 с.
5. *Красноруцкий А.А.* Обоснование проблемных сторон видеоинформационного обеспечения в системе поддержки и принятия решений / А.А. Красноруцкий, И.Е. Рогоза // Сучасна спеціальна техніка. – 2012. – № 2. – С. 22–30.

Отримано 13.11.2012