

ПОЗИЦИОННОЕ СТРУКТУРНО-ВЕСОВОЕ КОДИРОВАНИЕ БИНАРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАНТ

Рассматриваются особенности кодирования битового представления трансформанты с учетом выявленных закономерностей двоичных структур на основе позиционного структурно-весового (ПСВ) кодирования. Доказывается, что технология ПСВ кодирования обладает двумя механизмами компенсации влияния структурных особенностей двоичного формата трансформанты на количество бит сжатого представления, приходящегося в среднем на один элемент, а именно: формирование длин для бинарных серий; построение системы оснований ПСВ числа для каждого массива длин бинарных серий.

1. Введение

Развитие инфокоммуникационных систем осуществляется в соответствии с концепцией создания сетей следующего поколения (NGN). При этом основная доля расширения услуг связана с предоставлением мультимедийной информации [1, 2]. Проведенный анализ особенностей доставки видеoinформации с использованием инфокоммуникационных систем показал, что заданное время передачи обеспечивается только для кадров с низким пространственным разрешением. Для преодоления сложившегося дисбаланса между временем передачи кадров изображений и необходимым временем требуется обеспечить снижение скорости передачи видеопотока на основе использования систем компрессии.

Анализ подходов относительно построения систем сжатия видеоданных в инфокоммуникациях выявил, что они базируются на использовании JPEG ориентированных технологий [3 – 4]. С помощью таких систем сжатия обеспечивается передача изображений нормального SD качества по высокоскоростным каналам связи. Однако такая возможность достигается только при наличии потерь качества реконструируемых изображений на уровне пикового отношения сигнал/шум, равного 30дБ.

Значит, существующие технологии компрессии изображений с использованием JPEG ориентированных технологий не обеспечивают требуемого уровня битовой скорости сжатого видеопотока. Следовательно, снижение битовой скорости компрессированных видеоданных для повышения качества предоставления услуг с использованием средств телекоммуникаций является *актуальной научно-прикладной задачей*.

Снижение битовой скорости трансформированных изображений предлагается организовывать на основе совершенствования технологии кодирования бинарного представления, которая обладает потенциалом для снижения битового потока и времени обработки транс-

формант в условиях заданного качества реконструкции изображений для различной степени их насыщенности мелкими объектами.

Процесс сжатия трансформанты $Y_{m,n}$, рассматриваемой на битовом уровне описания, заключается в выявлении закономерностей для двоичных структур. Поэтому в первую очередь необходимо обосновать концептуальный подход для системы преобразований, включающей следующие составляющие [5]:

1) бинаризация компонент $Y_{\xi,\chi}$ трансформанты, т.е. формирование для ее компонентной структуры битового представления;

2) выявление структурных закономерностей для двоичного представления трансформанты $[Y_{m,n}]_2$;

3) кодирование битового представления трансформанты с учетом выявленных закономерностей двоичных структур.

При этом требуется обеспечить:

– снижение битовой скорости v_c компактного представления трансформанты без внесения дополнительных искажений;

– уменьшение количества операций на обработку трансформанты.

Наиболее ключевой является третья концептуальная составляющая. Отсюда *цель исследований* заключается в разработке кодирования битового представления трансформант для повышения степени сжатия изображений в условиях сохранения заданного качества визуализации изображений, предназначенных для передачи в инфокоммуникационных системах реального времени.

2. Построение позиционного структурно-весового кодирования бинарного представления трансформант

Выбор технологии кодирования требуется проводить с учетом особенностей выявления структурных характеристик для бинарных плоскостей трансформанты. Здесь необходимо учитывать, что путем описания одномерных структур одинаковых двоичных элементов длинами их серий достигается сокращение количества обрабатываемых данных и снижение битовой скорости. В то же время одномерные структуры выявляемых ограничений не учитывают наличие двумерных закономерностей.

Поэтому технологию кодирования последовательностей длин бинарных серий необходимо осуществлять в соответствии со следующими принципами:

1) обеспечивать снижение битовой скорости для различной частоты двоичных перепадов в плоскостях двоичных структур трансформант (ДСТ);

2) дополнительно учитывать избыточность, обусловленную двумерностью структурных закономерностей, которая остается не выявленной в случае одномерных двоичных серий;

3) обеспечивать возможность устойчивости к неконтролируемым искажениям в процессе передачи кодовых комбинаций по каналам связи с ошибками;

4) организация кодирования не должна приводить к увеличению количества операций, затрачиваемых на трансформацию сегмента. Рост количества операций должен находиться в линейной зависимости от увеличения количества обрабатываемых данных.

Среди различных стратегий кодирования наибольшее сокращение избыточности достигается в результате выявления пространственных ограничений на последовательности длин двоичных серий. Это обусловлено тем, что поэлементное кодирование заведомо менее эффективное, чем кодирование блоков. Поэтому чем больше длина обрабатываемой последовательности, на которой выявляются ограничения, тем потенциально большее количество избыточности можно устранить.

Реализовать такой подход можно на основе учета неравномерности динамических диапазонов длин бинарных серий, расположенных в пределах как одной двоичной плоскости, так и в различных плоскостях ДСТ. Одним из вариантов для учета такой особенности является формирование для последовательностей длин бинарных серий полиадических чисел (ПЧ) [5].

Полиадическим числом A называется такое число $\{\ell_1, \dots, \ell_\theta, \dots, \ell_\Theta\}$, основаниями g_θ элементов которого могут быть произвольные целые числа, так чтобы выполнялись неравенства

$$\ell_\theta < g_\theta, \theta = \overline{1, \Theta}. \quad (1)$$

Понятно, что в общем случае между основаниями элементов ПЧ выполняется условие

$$g_\xi \neq g_\gamma, \text{ где } \xi \neq \gamma, \xi, \gamma = \overline{1, \Theta}. \quad (2)$$

В целях сокращения количества оснований, как правило, они формируются сразу для нескольких элементов обрабатываемых данных. В этом случае образование полиадических чисел проводится для одномерных последовательностей, рассматриваемых как структурные составляющие массивов данных. В соответствии с этим на основе последовательности L длин бинарных серий, выявленных для ДСТ, строятся двумерные массивы $A_{k,u}$, $A_{k,u} = \{\ell_{s,p}\}$. Здесь $A_{k,u}$ – массив длин бинарных серий, сформированный для $(k;u)$ -й трансформанты; $\ell_{s,p}$ – $(s;p)$ -й элемент массива $A_{k,u}$; p – длина строки (количество столбцов) в массиве $A_{k,u}$; S – длина полного столбца; s' – длина неполного столбца.

Последний столбец массива может быть заполненным не полностью, т.е. $s' \leq S$. Это вызвано тем, что количество Φ бинарных серий для ДСТ не всегда будет кратным заранее выбранной длине столбца S .

В этом случае полиадические числа строятся на основе отдельных столбцов массива ДБС. В результате для одного массива получаем p полиадических чисел, т.е. $A_{k,u} \rightarrow \{A^{(1)}, \dots, A^{(p)}, \dots, A^{(p)}\}$. При этом последнее полиадическое число $A^{(p)}$ может состоять из s' элементов.

При таком варианте образования ПЧ основания определяются для строк массива $A_{k,u}$. Тогда основание g_s будет общим для элементов s -й строки массива $A_{k,u}$. По определению основания полиадического числа должно выполняться неравенство (1), тогда для величины g_s должно выполняться условие $g_s > \max_{1 \leq p \leq P} \{\ell_{s,p}\}$, $s = \overline{1, S}$. Отсюда наименьшее допустимое значение для основания ПЧ будет вычисляться как

$$g_s = \max_{1 \leq p \leq P} \{\ell_{s,p}\} + 1 \text{ для } s \leq s'; \quad g_s = \max_{1 \leq p \leq P-1} \{\ell_{s,p}\} + 1 \text{ для } s > s'$$

или, если ввести обобщающую функцию $P' = P - (1 - \text{sign}(\text{sign}(s' - s) + 1))$, то

$$g_s = \max_{1 \leq p \leq P'} \{\ell_{s,p}\} + 1. \text{ Здесь получаем } P' = \begin{cases} P, & \rightarrow s \leq s'; \\ P-1, & \rightarrow s > s'. \end{cases}$$

Отсюда для массива $A_{k,u}$ формируется одномерная система оснований G , включающая в себя S компонент, а именно $G = \{g_1, \dots, g_s, \dots, g_S\}$. Для предложенной системы оснований весовые коэффициенты W_s элементов ПЧ определяются как накопленное произведение

оснований младших элементов, т.е. $W_s = \prod_{\xi=s+1}^S g_\xi$. Весовой коэффициент элемента ПЧ

зависит от его позиции в числе и в отличие от позиционного числа имеет неравномерное приращение, зависящее от значений оснований между рассматриваемыми элементами. Например, для s -го элемента относительно $(s+1)$ -го элемента весовой довесок равен

$$g_{s+1}, \quad g_{s+1} = W_s / W_{s+1} = \prod_{\xi=s+1}^S g_\xi / \prod_{\xi=s+2}^S g_\xi.$$

С другой стороны, весовой довесок для $(s-1)$ -го элемента относительно s -го элемента

равен g_s , $g_s = W_{s-1} / W_s = \prod_{\xi=s}^S g_\xi / \prod_{\xi=s+1}^S g_\xi$. Отсюда в соответствии с условием (2) получим

$$g_s \neq g_{s+1}.$$

Поэтому полиадическое число в общем случае трактуется как позиционно-неравновесное число (ПНЧ) – весовой коэффициент элементов зависит не только от их позиции, но и от значений оснований младших элементов.

В соответствии с данным определением кодовое отображение C_p полиадического числа находится по следующей формуле:

$$C_p = \ell_{1,p} \prod_{\xi=2}^S g_{\xi} + \dots + \ell_{s,p} \prod_{\xi=s+1}^S g_{\xi} + \dots + \ell_{S-1,p} g_S + \ell_{S,p} = \sum_{s=1}^S \ell_{s,p} \prod_{\gamma=s+1}^S g_{\gamma}, \quad (3)$$

или $C_{p,1} = \ell_{1,p} \prod_{\xi=2}^S g_{\xi}$; $C_{p,2} = C_{p,1} + \ell_{2,p} \prod_{\xi=3}^S g_{\xi}$; \dots ; $C_p = \sum_{\xi=1}^{S-1} C_{p,\xi} + \ell_{S,p}$.

Следовательно, на каждом шаге кодирования формируется слагаемое $C_{p,\xi}$ на основе старшего из необработанных элементов ПЧ. Это позволяет заключить, что кодирование полиадических чисел осуществляется по схеме кодирования старших элементов позиционно-неравновесного числа.

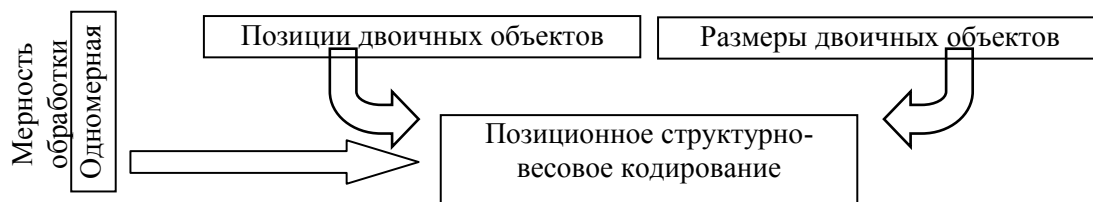
Сформулируем интерпретацию кодирования ПНЧ для обработки двоичных структур трансформант. В выражении (3) величины $\ell_{s,p}$ представляют собой одномерную структурную единицу содержания битовых плоскостей, а именно длину бинарной серии. Поэтому в данном случае полиадическое кодирование можно рассматривать как интегрированное представление взвешенных структурных составляющих двоичного формата трансформанты. При этом весовые характеристики структурных составляющих зависят от их позиционирования в ДСТ. Следовательно, такое кодирование можно интерпретировать как позиционно-структурно-весовое кодирование.

Определение 1. Позиционным структурно-весовым (ПСВ) числом называется такое позиционное число, когда его элементами являются взаимодополняющие (непересекающиеся) структурные составляющие обрабатываемых форматов данных и в общем случае выполняется условие $g_{\xi} \neq g_{\gamma}$, где $\xi \neq \gamma$, $\xi, \gamma = 1, \Theta$.

Определение 2. Позиционным структурно-весовым кодированием называется интегрированное представление взвешенных структурных составляющих, заданное выражением (3).

Позиционное структурно-весовое кодирование как технологию обработки двоичных форматов данных можно рассматривать в виде варианта обобщения двух типов структурных характеристик, а именно позиционирования и размеров двоичных объектов (рисунок). Размеры двоичных областей учитываются в результате выявления длин двоичных серий, а позиции областей – на основе зависимости весовых коэффициентов длин серий от их позиции в битовом представлении.

Тип выявляемых характеристик



Место позиционно-неравновесного представления в системе классификации методов битовой обработки

В свою очередь значение кода ПСВ числа является количественной характеристикой частоты бинарных перепадов. Для фиксированной длины столбца (длина ПСВ числа фиксирована, количество бинарных элементов ДСТ является переменным) значение ПСВ кода будет уменьшаться по мере увеличения частоты двоичных перепадов, т.е. уменьшения длин серий. Однако с другой стороны будет увеличиваться количество ПСВ кодов.

Для фиксированного количества бинарных элементов двоичной структуры трансформанты (в этом случае формируются ПСВ числа переменной длины) значение ПСВ кода будет, наоборот, увеличиваться с ростом частоты двоичных перепадов. Если теперь зафиксируем длину машинного слова, то для переменной длины ПЧ мы уложим туда больше элементов ДСТ, чем будут больше длины построенных для них бинарных серий.

Объем $V(C_p)_c$ сжатого представления столбца массива бинарных серий оценивается как количество разрядов на представления соответствующего полиадического кода C_p ,

$$V(C_p)_c = [\log_2 C_p] + 1 = [\log_2 (\sum_{s=1}^S \ell_{s,p} \prod_{\gamma=s+1}^S g_\gamma)] + 1.$$

Величина кода полиадического числа ограничена сверху величиной накопленного произведения оснований его элементов, т.е.

$$C_p \leq (\prod_{s=1}^S g_s) - 1,$$

где $\prod_{s=1}^S g_s$ – накопленное произведение оснований элементов ПЧ.

Максимальное значение $v(\max)_c$ объема кодового представления столбца массива ДБС оценивается по следующей формуле:

$$v(\max)_c = [\log_2 (\prod_{s=1}^S g_s - 1)] + 1 \leq [\log_2 (\prod_{s=1}^S g_s)] + 1 = [\sum_{s=1}^S \log_2 g_s] + 1.$$

Усреднение объемов $V(C_p)_c$ и $v(\max)_c$, приходящееся на один элемент ДСТ, оценивается по формулам:

$$\begin{aligned} \bar{v}_b &= V(C_p)_c / S \sum_{s=1}^S \ell_{s,p} = ([\log_2 (\sum_{s=1}^S \ell_{s,p} \prod_{\gamma=s+1}^S g_\gamma)] + 1) / S \sum_{s=1}^S \ell_{s,p}; \\ \bar{v}(\max)_b &= ([\sum_{s=1}^S \log_2 g_s] + 1) / S \sum_{s=1}^S \ell_{s,p}, \end{aligned}$$

где \bar{v}_b , $\bar{v}(\max)_b$ – среднее и максимальное количество бит, приходящихся на один двоичный элемент бинарного формата трансформанты.

Анализ выражений показывает, что:

1) с одной стороны, с ростом длины бинарной серии величина кода ПСВ числа будет увеличиваться. Но с другой стороны за счет увеличения длины бинарной серии среднее количество бит на один элемент двоичной структуры трансформанты будет уменьшаться, т.е. будет происходить компенсация повышения значения кода ПСВ числа;

2) наоборот, при сокращении длины бинарной серии уменьшаются значения оснований ПСВ числа и, как следствие снижается значение его кода, что приводит к компенсации роста среднего количества бит, приходящегося на один элемент ДСТ.

Значит, предложенная технология ПСВ кодирования обладает двумя механизмами компенсации влияния структурных особенностей двоичного формата трансформанты на количество бит сжатого представления, приходящегося в среднем на один элемент ДСТ, а именно:

- формирование длин для бинарных серий;
- построение системы оснований ПСВ числа для каждого массива длин бинарных серий.

В итоге это приводит к снижению битовой скорости сжатого представления ДСТ для различного структурного содержания двоичного формата трансформанты, т.е. для различной частоты двоичных перепадов.

Сжатие изображений в результате позиционного структурно-веса 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.

Таким образом, разработаны базовые составляющие концепции сжатого представления бинарного формата трансформанты, а именно:

- 1) бинаризация компонент трансформант проводится на основе их разложения с использованием полинома по основанию два;
- 2) выявление структурных характеристик в двоичном представлении трансформанты осуществляется путем формирования длин бинарных серий;
- 3) сокращение пространственной избыточности в битовом представлении трансформанты без внесения погрешности с учетом выявленных структурных закономерностей организуется на основе позиционного структурно-неравновесного кодирования.

Выводы

1. Кодирование битового представления трансформанты с учетом выявленных закономерностей двоичных структур проводится 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 в пределах как одной двоичной плоскости, так и в различных плоскостях ДСТ.

2. Построенная технология ПСВ кодирования обладает двумя механизмами компенсации влияния структурных особенностей двоичного формата трансформанты на количество бит сжатого представления, приходящегося в среднем на один элемент ДСТ, 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, т.е. для различной частоты двоичных перепадов.

Список литературы: 1. *Аудиовизуальные системы связи и вещания: новые технологии третьего тысячелетия, задачи и проблемы внедрения в Украине* / [О.В. Гофайзен, А.И. Ляхов, Н.К. Михалов и др.] // Праці УНДІРТ. 2000. № 3. С. 3-40. 2. *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. *Баранник В.В.* Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.К. Гулак, Н.А. Королева // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. Х.: ХНАУ "ХАІ", 2009. Вип. 1. С. 55–61.

Поступила в редколлегию 05.12.2011

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

Красноруцкий Андрей Александрович, инженер Харьковского университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Хаханова Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: технологии преобразования, кодирования и передачи информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, комн. 321.