УДК 621.39

В.В. БАРАННИК, А.В. ХАХАНОВА, С.А. СИДЧЕНКО

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ СТРУКТУРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ В ДВОИЧНОМ ПОЛИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Создается двумерное однопризнаковое структурное кодирование двоичных данных по количеству серий единиц в полиадическом пространстве. Обосновывается, что дополнительный учет ограничений на количество серий единичных элементов в двоичных полиадических числах обеспечивает увеличение степени сжатия сообщений произвольного источника информации.

1. Введение

Известные технологии сжатия статических и динамических изображений обеспечивают наибольшие степени сжатия за счет сокращения психовизуальной избыточности и последующего статистического кодирования компонент трансформант ортогональных преобразований. Психовизуальная избыточность сокращается в результате обнуления высокочастотных составляющих компонент трансформант.

Основными недостатками данных технологий являются:

– возможные потери информации, которые возникают на этапе самого преобразования и на этапе квантизации их компонент;

– зависимость эффективности сжатия от характеристик источника информации.

По этим причинам методы указанных технологий нельзя использовать для сжатия данных, полученных от различных источников информации и требующих различной степени достоверности (для некоторых приложений необходимо проводить обработку без внесения погрешностей).

Поэтому требуется разработать кодирование двоичных данных, на которые одновременно наложены ограничения на количество единичных серий и на позиции с запретом появления единичных элементов.

Однако теоретические основы и методы сжатия на основе структурного кодирования в двоичном полиадическом пространстве отсутствуют. Следовательно, *целью* данного исследования является разработка теоретических основ и методов сжатия данных, полученных от различных источников информации, на основе двухпризнакового представления в двоичном полиадическом пространстве с заданной степенью достоверности.

2. Обоснование возможности дополнительного сокращения структурной избыточности на основе кодирования по количеству единиц в двоичном полиадическом пространстве

Для обоснования того, что за счет выявления закономерностей по количеству серий единиц в полиадическом пространстве осуществляется дополнительное сокращение избыточности, необходимо доказать неравенства:

$$V(m,\Lambda,\vartheta) \le V(m,\Lambda); \tag{1}$$

$$V(m,\Lambda,\vartheta) \le V(m,\vartheta), \tag{2}$$

где $V(m,\Lambda)$, $V(m,\vartheta)$, $V(m,\Lambda,\vartheta)$ – множества двоичных последовательностей, удовлетворяющих соответственно ограничениям на позиции единиц, на количество серий единиц и на количество серий единиц в полиадическом пространстве.

Для доказательства неравенства (1) необходимо показать, что выполняется соотношение:

$$\Psi(m,\Lambda,\vartheta_k) \bigcap \Psi(m,\Lambda,\vartheta_u) = 0 \text{, где } k,\ u = \overline{0,\ \vartheta_{max}};\ k \ne u, \tag{3}$$

т.е. обосновать взаимонезависимость множеств двоичных последовательностей в полиадическом пространстве, полученных для разных значений признаков ϑ_k и ϑ_u (где ϑ_k, ϑ_u

– количество серий единиц соответственно для k-й и u-й двоичных последовательностей; ϑ_{max} – максимальное количество серий единиц, которое может содержаться в двоичной последовательности длиной m элементов, $\vartheta_{max} = [\frac{m+1}{4}]$).

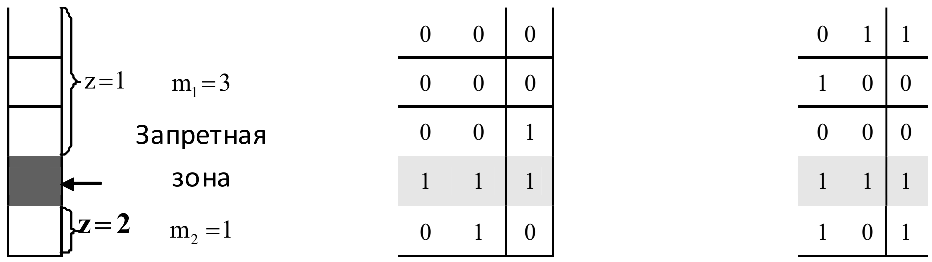
Действительно, соотношение (3) выполняется, поскольку выполняется условие взаимонезависимости для различных однопризнаковых множеств без ограничений на возможные позиции единиц:

$$\Psi(m, \vartheta_k) \bigcap \Psi(m, \vartheta_u) = 0 \text{, где } k,\ u = \overline{0,\ \vartheta_{max}}\ ;\ k \neq u\ . \qquad (4)$$

Поскольку условие (4) выполняется для произвольных ограничений на позиции единиц, то оно также будет выполняться в условиях наложения конкретных ограничений (соотношение (3)).

Из взаимонезависимости множеств $\Psi(m, \Lambda, \vartheta_k)$ следует, что они являются слагаемыми множества полиадических чисел $\Psi(m, \Lambda)$, причем знак равенства в выражении (1) будет стоять тогда, когда наложены запреты на появления единиц для всех позиций. Неравенство (1) доказано.

Рассмотрим доказательство неравенства (2). Двоичная последовательность будет принадлежать множеству $\Psi(m, \Lambda, \vartheta)$ тогда, когда через заданную позицию с $\lambda_i = 1$ ($s_i = 0$) не будет проходить серия единиц, т.е. полиадические ограничения трактуются как запрет появления единиц на определенной позиции. Значит, на расположение серий единичных элементов накладываются дополнительные запреты, задаваемые полиадическими ограничениями $0 \le a_i \le \lambda_i - 1$. Отсюда следует выполнение неравенства (2). Знак равенства в соотношении (2) будет тогда, когда для всех позиций разрешено появление единичных элементов. Примеры запрещенных двоичных последовательностей показаны на рисунке.



а б в

Пример запрещенных комбинаций для $m = 5$, $s_4 = 0$: а – общая схема выделения двух рабочих зон, состоящих соответственно из трех и одного двоичного элемента $m_1 = 3$ и $m_2 = 1$;
б – примеры запрещенных двоичных последовательностей с количеством серий, равным $\vartheta = 1$;
в – примеры запрещенных двоичных последовательностей с количеством серий, равным $\vartheta = 2$

3. Разработка кодирования двоичных полиадических чисел по ограниченному количеству серий единиц

Для определения объема множества $V(m, \Lambda, \vartheta)$ докажем следующую теорему.

Теорема об объеме множества двоичных полиадических чисел по количеству серий единиц. *Количество двоичных последовательностей равно*

$$V(m, \Lambda, \vartheta) = \sum_{k=1}^{K} V(\Theta^{(k)}) = \sum_{k=1}^{K} \prod_{z=1}^{Z} V(\vartheta_z^{(k)},\ \Theta^{(k)}); \qquad (5)$$

$$V(\vartheta_z^{(k)},\ \Theta^{(k)}) = \binom{m_z+1}{2\vartheta_z^{(k)}} = \frac{(m_z+1)!}{(2\vartheta_z^{(k)})!\ (m_z+1-2\vartheta_z^{(k)})!}, \tag{6}$$

где $\vartheta_z^{(k)}$ – значение числа серий для z-й допустимой зоны двоичной последовательности A (рисунок, поз. а); $\Theta^{(k)}$ – вектор, элементами которого является k-я комбинация количеств серий единиц $\vartheta_z^{(k)}$ в допустимых зонах $\Theta^{(k)} = \{\vartheta_1^{(k)}, ..., \vartheta_z^{(k)}, ..., \vartheta_Z^{(k)}\}$, $k = \overline{1, K}$; Z – количество допустимых зон в двоичной последовательности; K – количество векторов $\Theta^{(k)}$ (количество комбинаций длиной Z, составленных из элементов $\vartheta_z^{(k)}$); m_z – количество двоичных элементов в z-й допустимой зоне; $V(\vartheta_z^{(k)},\ \Theta^{(k)})$ – количество допустимых двоичных последовательностей, полученных для z-й допустимой зоны по количеству серий единиц, равному $\vartheta_z^{(k)}$ для вектора $\Theta^{(k)}$; $V\ (\Theta^{(k)})$ – количество допустимых двоичных последовательностей, полученное с учетом обработки всех Z допустимых зон для k-го вектора значений величин $\vartheta_z^{(k)}$.

Доказательство. Система полиадических ограничений делит исходную двоичную последовательность на допустимые и запрещенные зоны (рисунок, поз. а). Запрещенные зоны состоят из элементов, на позициях которых запрещено появление единицы, т.е. $\lambda_i = 1$. Допустимые зоны располагаются между запрещенными зонами и на их позициях допустимо появление единиц. Обозначим число допустимых зон через **Z**, $0 \le Z \le [\frac{m+1}{2}]$, причем $Z = 0$, когда все элементы двоичной последовательности равны 0. Пример множества $V(m, \Lambda, \vartheta)$ двоичных полиадических чисел по количеству серий единиц для $m = 5$, $\Lambda = \{2;2;2;1;2\}$ и $\vartheta = 1$ приведен в таблице. Для данного примера количество допустимых зон равно $Z = 2$, а запрещенная зона состоит из одного элемента $a_4 = 0$.

За счет деструктуризации исходной последовательности на запрещенные и допустимые зоны исходное количество серий ϑ будет равняться сумме количеств серий единиц $\vartheta_z^{(k)}$ каждой допустимой зоны z:

$$\vartheta = \sum_{z=1}^{Z} \vartheta_z^{(k)}. \tag{7}$$

Множество $V(m, \Lambda, \vartheta)$ двоичных полиадических чисел с $m = 5$, $\Lambda = \{2;2;2;1;2\}$ по числу серий $\vartheta = 1$

a_1	0	0	0	0	1	1	1
a_2	0	0	1	1	0	1	1
a_3	0	1	0	1	0	0	1
a_4	0	0	0	0	0	0	0
a_5	1	0	0	0	0	0	0
$N(m, \Lambda, \vartheta)$	0	1	2	3	4	5	6

Рассмотрим пример формирования кода-номера для двоичной последовательности $A^{(j)}=(1;0;0;0;0;0;\ 0;0;1;0;1;0)$, у которой пятый, шестой и седьмой элементы являются запрещенными, т.е. $\lambda_5=1$, $\lambda_6=1$ и $\lambda_7=1$. В этом случае исходная последовательность разбивается на две подпоследовательности, включающие в себя две допустимые зоны $Z=2$, $m_1=4$ и $m_2=5$: $A_1^{(j)}=(1;0;0;0)$ и $A_2^{(j)}=(0;1;0;1;0)$. Количество серий единиц в последовательности $A^{(j)}$ равно $\vartheta=3$. Возможны четыре комбинации векторов $\Theta^{(\xi)}$, $K=4$: для $\xi=1$ $\vartheta_1^{(1)}=0$, $\vartheta_2^{(1)}=3$; для $\xi=2$ $\vartheta_1^{(2)}=1$, $\vartheta_2^{(2)}=2$; для $\xi=3$ $\vartheta_1^{(3)}=2$, $\vartheta_2^{(3)}=1$; для $\xi=4$ $\vartheta_1^{(4)}=3$, $\vartheta_2^{(4)}=0$. При этом поскольку длина первой зоны равна 4, то максимальное количество серий в первой зоне не должно превышать $\vartheta_{\max,1}=[\frac{m_1+1}{2}]=2$. Значит, комбинация $\xi=4$ является запрещенной.

4. Выводы

Разработаны теоретические основы компактного представления двоичных данных на основе структурного кодирования по числу серий единиц в двоичном полиадическом пространстве, включающие в себя:

– формулировку основных понятий представления двоичных данных с ограниченным количеством серий единиц в двоичном полиадическом пространстве;

– доказательство теоремы о количестве допустимых двоичных полиадических чисел с ограниченным числом серий единиц, удовлетворяющих одновременно ограничениям на число серий единиц и на позиции с допустимым появлением единичных элементов. Это позволяет получить значение объема допустимого множества для заданных значений количества серий единиц и ограничений на позиции с возможным появлением единиц;

– систему правил, позволяющую сформировать код-номер для двоичного полиадического числа по заданному значению числа серий единиц и по заданным ограничениям на позиции с возможным появлением единиц (количеству допустимых зон и их длинам).

Обосновано, что для повышения степени компактного представления двоичных данных с заданной степенью достоверности необходимо решить научную проблему, которая состоит в разработке теоретических основ и методов сжатия данных, полученных от различных источников информации, на основе двухпризнакового представления в двоичном полиадическом пространстве с заданной степенью достоверности.

Список литературы: 1. *Комарова Л.О.* Методи управління інформаційно-комунікаційними кластерами в кризових ситуаціях. Монографія / Л.О.Комарова // К.:ДУТ. 2014. 395 с. **2.** *Автоматизированная* система коммерческого осмотра поездов и вагонов / Под ред. В.Н. Солошенко. М.: ГОУ „Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте”, 2008. **3.** *Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео М.: Диалог-Мифи, 2003. 381с. **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.* Модель оценки информативности слота Р-кадров на основе выявления структурно-градиентных межтрансформантных ограничений / В.В. Баранник, С.С. Шульгин // АСУ и приборы автоматики. 2015. №172. С. 76- 81.

Поступила в редколлегию 25.12.2015

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил имени 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.

Хаханова Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14.

Сидченко Сергей Александрович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 066-299-82-73.