

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЛИН СЕРИЙ ПОЛИАДИЧЕСКИМИ КОДАМИ

к.т.н. В.В. Баранник, Н.А. Королёва
(представил проф. А.В. Королев)

Приводится физическое обоснование возможности компактного представления блоков длин серий полиадических кодами. Определяется физический смысл полиадических кодов длин серий одинаковых элементов изображений.

В настоящее время для компактного представления длин серий используются поэлементные методы кодирования. К таким методам относятся модифицированные методы Хаффмена – Галлагера [1], арифметические коды [2], побуквенные коды [3], адаптивное кодирование Зива [4] и т.д. Общая схема кодирования для таких методов задается следующими формулами:

$$\{\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n\} \rightarrow \{P_1, P_2, \dots, P_m\}; \quad (1)$$

$$b_i = \Phi_3 \{P_1, P_2, \dots, P_m, \ell_i\}, \quad (2)$$

где ℓ_i - числовое значение длины i - й серии одинаковых элементов изображений;

n - длина последовательности длин серий;

P_j - значение j - й характеристики (например, вероятность появления серии фиксированной длины, вероятность обнаружения нескольких длин серий с конкретными значениями), заданной на последовательности длин серий;

m - длина вектора характеристик;

Φ_3 - оператор поэлементного кодирования.

На первом этапе (1) для переменной последовательности длин серий определяется вектор характеристик (в основном вероятностно – статистические). На втором этапе (2) конкретные значения вектора характеристик позволяют сформировать кодовое представление b_i для отдельной длины серии ℓ_i . При поэлементном кодировании длин серий наибольшая степень сжатия обеспечивается для искусственных изображений типа "Мнемосхема" (в среднем дополнительно в 3 раза [5]). Для нестационарных изображений типа "фото с ИСЗ" и насыщенных деталями изображений типа "Портрет" степень сжатия кодов длин серий в результате поэлемент-

ной обработки достигает дополнительно всего 1.5 раза [5].

В тоже время известно [6], что наибольшее сокращение объема цифрового представления достигается при кодировании не отдельных элементов, а некоторой совокупности (блоков) элементов. Однако, в работе [6] не указывается конкретный метод кодирования блоков элементов. Поэтому представляют интерес задачи выбора и обоснования возможности компактного представления последовательностей (блоков) длин серий.

В общем виде блочное кодирование длин серий задается следующими выражениями:

$$L^{(j)} = \{l_{1j}, l_{2j}, \dots, l_{nj}\} \rightarrow \lambda_j; \quad (3)$$

$$N_j = \Phi_6 \{l_{1j}, l_{2j}, \dots, l_{nj}, \lambda_j\}, \quad (4)$$

где λ_j - значение характеристики общей для всего j - го блока длин серий;

Φ_6 - оператор блочного кодирования;

$L^{(j)}$ - обозначение блока длин серий размером n элементов;

N_j - код j - го блока длин серий.

По аналогии с поэлементным кодированием на первом этапе (3) блочного кодирования вычисляется значение характеристики λ_j , свойственной для всего блока. Конкретное значение характеристики λ_j является параметром блочного кодирования Φ_6 . Оператор Φ_6 для заданного блока длин серий $L^{(j)}$ и λ_j формирует общий код N_j (4), т.е. характеристика λ_j влияет на выбор вида блочного кода. Значит, эффективность блочного кодирования длин серий зависит от точности выбора типа характеристики λ_j . Поэтому перед выбором вида блочного кода необходимо исследовать свойства массивов длин серий для широкого класса изображений для определения типа характеристики λ_j . При этом характеристики λ_j должны отвечать следующим требованиям:

1. Отражать общие для всего блока длин серий свойства.
2. Выражаться количественно и иметь несложную процедуру вычисления.
3. Позволять гибко настраивать процесс блочного кодирования при динамическом изменении структурного содержания изображения.
4. Поскольку λ_j является характеристикой для всей области изображения, то она частично описывает форму и структуру объектов изображения. Эти характеристики являются основными для идентификации изображений. В этом случае оператор блочного кодирования Φ_6 должен обеспечивать сжатие изображения с контролируемой погрешностью.

Длина серии является простейшей структурной характеристикой изображений. В зависимости от степени насыщенности изображений мелкими деталями различного цвета изменяется длина и количество серий. Для сильнонасыщенных изображений характерны небольшие серии одинаковых элементов (1 - 3 элемента). Длина серий увеличивается по мере снижения степени насыщенности и достигает максимальных значений для изображений типа "Мнемосхема". В случае блочного кодирования больший интерес представляют не отдельные серии, а их совокупность, описывающая целые области изображений.

При этом для локальных областей характерно ограничение динамического диапазона длин серий, определяемое степенью насыщенности изображений. Основной характеристикой динамического диапазона является его максимальное значение. В связи с этим характеристикой, отражающей общую тенденцию длин серий в блоке с учетом изменения структурного содержания изображения, является значение максимальной длины серии λ_i :

$$\lambda_i = \max_{1 \leq j \leq n} \{ \ell_{ij} \} . \quad (5)$$

Максимальные значения λ_i для блока длин серий обладают следующими свойствами.

1. Имеют неравномерный закон распределения. Это объясняется неравномерным распределением длин серий для нестационарных (реалистических) изображений [7].

2. Наименьшее значения λ_i принимают для изображений типа "Фото с ИСЗ", а наибольшее – для изображения типа "Мнемосхема".

Из анализа этих свойств следует, что произведение λ_i для m строк массива длин серий не будет превышать произведения m предельных значений длин L_{\max} для каждой серии

$$\prod_{i=1}^m \lambda_i \leq L_{\max}^m . \quad (6)$$

Произведение $\prod_{i=1}^m \lambda_i$ равно количеству перестановок длин серий с

учетом ограничений на максимальные значения. Величина L_{\max}^m равна количеству перестановок в общем случае (без учета ограничений). Тогда на основе неравенства (6) следует, что блок длин серий одинаковых элементов изображения имеет комбинаторную избыточность, обусловленную ограничениями на максимальные значения λ_i . Поэтому для компактного представления длин серий в качестве блочного кодирования Φ_6 предлага-

ется использовать полиадическое кодирование $\Phi_{\text{пк}}$ [8]:

$$\Phi_6 = \Phi_{\text{пк}}.$$

Таким образом, значения максимумов длин серий λ_i отвечают всем требованиям, предъявляемым к блочным характеристикам, а именно:

- обобщает свойства последовательности длин серий, так как является характеристикой их динамического диапазона;

- на вычисление λ_i для строки из n длин серий по выражению (5) требуется n операций сравнения, что на порядок меньше числа операций, затрачиваемых на формирование характеристики p_j поэлементного кодирования (например, на определение частоты появления длин серий с конкретными значениями требуется порядка $\frac{n^2}{2}$ операций сравнения и сложения [4]);

- полиадическое кодирование осуществляет сжатие данных без погрешностей.

В результате полиадического кодирования для блока длин серий $L^{(j)}$ вычисляется значение кода N_j :

$$N_j = \Phi_{\text{пк}} \left\{ \ell_{ij}, \prod_{k=i+1}^m \lambda_k \right\}_{i=1, \dots, m}, \quad (7)$$

где $\Phi_{\text{пк}}\{\cdot\}$ - оператор полиадического кодирования [8];

$\prod_{k=i+1}^m \lambda_k$ - накопленное произведение максимумов длин серий λ_k для $(m-i-1)$ строк массива длин серий.

Максимальное количество разрядов W_{max} , затрачиваемых на блочный код в случае полиадического кодирования равно

$$W_{\text{max}} = \log_2 \prod_{i=1}^m \lambda_i = \sum_{i=1}^m \log_2 \lambda_i. \quad (8)$$

На основе анализа выражений (7) и (8) можно выявить зависимость значений полиадических кодов от степени насыщенности изображений. Значение полиадического кода длин серий уменьшается по мере увеличения степени насыщенности изображения (фото с ИСЗ). Наоборот величина полиадического кода длин серий увеличивается по мере увеличения размеров областей, закрашенных одним цветом (мнемосхемы). Для изображений типа "Портрет" характерны длины серий неравномерной длины. В этом случае значение полиадического кода зависит от взаимного располо-

жения длин серий. Для таких типов изображений значение полиадического кода уменьшается по мере концентрации наибольших длин серий в верхнем левом углу блока. Схема такой зависимости представлена на рис. 1. Из рис. 1 видно, что по мере увеличения значений длин серий в блоке $l_{i1} < l_{i2} < l_{i3}$ повышается значение полиадического кода N_j :

$$N_1 < N_2 < N_3.$$

Таким образом, в общем случае полиадический код длин серий количественно характеризует степень насыщенности области изображения мелкими деталями (степени изрезанности области, закрашенной одним цветом контурами). Поэтому в результате полиадического кодирования длин серий сокращается структурная избыточность, обусловленная насыщенностью изображения деталями. Для искусственных изображений полиадическим кодированием исключается структурная избыточность, вызванная регулярностью размеров областей закрашенных одним цветом. Действительно, длина серии находится в обратной зависимости степени насыщенности изображения. При этом чем больше насыщенность, тем меньше длина серии и меньше значение полиадического кода и наоборот. Достоинство полиадического кодирования состоит в том, что средняя затрата разрядов, приходящихся на одну длину серии не ограничивается единицей [8]. В то время, как для поэлементного кодирования минимальные затраты на одну длину серии ограничены единицей.

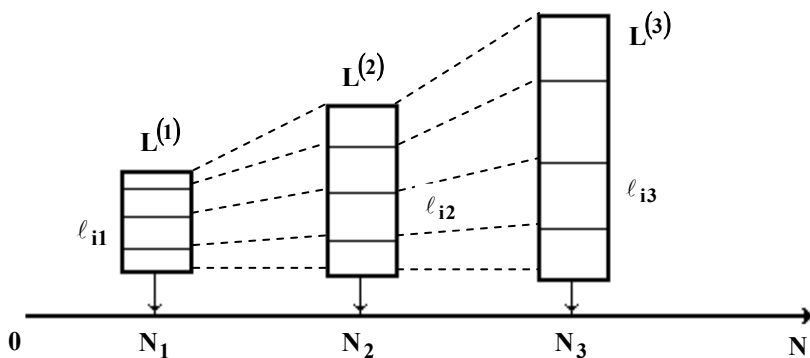


Рис. 1. Схема зависимости значения полиадического кода от степени насыщенности изображения

Для повышения соответствия свойств массивов длин серий изображений типа "Мнемосхема" требованиям полиадических кодов предлагается понижать их динамический диапазон. Для этого каждая длина серии уменьшается на минимальную длину l_{\min} в массиве

$$l_{ij}^{(-)} = l_{ij} - l_{\min} ;$$

$$l_{\min} = \min_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq n}} \{ l_{ij} \} .$$

В результате таких действий возможно существенное понижение динамического диапазона длин серий, соответствующих стационарным изображениям.

Для изображений с быстроменяющимися характеристиками насыщенности (нестационарных изображений) гибкость кодирования достигается за счет вычисления максимумов длин серий для каждой области изображения.

Таким образом, в данной статье доказано, что:

- 1) существует физическая совместимость свойств массивов длин серий требованиям полиадических кодов;
- 2) блочное кодирование на основе полиадических чисел позволяет более эффективно кодировать массивы длин серий, соответствующих нестационарным изображениям, чем поэлементное кодирование длин серий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галлагер Р.Г. Адаптивный код Хаффмена // ТИИЭР. – 1978. – № 6. – С. 668 - 674.
2. Зив Дж. Арифметический код // ТИИЭР. – 1994. – № 11. – С. 102 - 104.
3. Bell T.C. Text compression. Englwod Clifs. N. J.: Prentice – Hall, 1990.
4. Зив Дж. Алгоритм универсального сжатия данных // Проблемы передачи информации – 1996. – № 2. – С. 47 - 55.
5. Королёва Н.А. Оценка эффективности обработки видеoinформации методом длин серий // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 1999. – Вип. 2(6). – С. 181 - 185.
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностр. литературы, 1963. – 793 с.
7. Смирнов Н.В., Дунин – Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
8. Королёва Н.А., Баранник В.В. Адаптивная упаковка преобразованных изображений побуквенным кодированием мультиадических чисел // ИУСЖТ. – 1999. – № 2. – С. 45 - 50.

Поступила в редколлегию 26.04.2001