

УДК 621.327:681.5

В.В. Баранник,

доктор технических наук, профессор,

О.С. Кулица, адъютант Академии пожарной безопасности
имени Героев Чернобыля

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДВУМЕРНОМ ПОЛИАДИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Излагается построение математической модели оценки информативности изображения, обрабатываемого по отдельным фрагментам с учетом их комбинированного дифференцирования и одномерного кодирования в виде двумерных полиадических чисел по блочной схеме. Обосновывается то, что в результате одномерного полиадического кодирования по блочной схеме сокращается комбинаторная избыточность, обусловленная, с одной стороны, коррелированностью областей изображений, а с другой стороны, – наличием ограниченного количества мелких объектов.

Ключевые слова: технологии компрессии, блочный код.

Викладено побудову математичної моделі оцінки інформативності зображення, що обробляється за окремими фрагментами з урахуванням їх комбінованого диференціювання й одновимірного кодування у вигляді двовимірних поліадичних чисел за блоковою схемою. Обґрунтовується те, що в результаті одновимірного поліадичного кодування за блоковою схемою скорочується комбінаторна надмірність, зумовлена, з одного боку, корельованістю областей зображень, а з іншого боку, – наявністю обмеженої кількості дрібних об'єктів.

Ключові слова: технології компресії, блоковий код.

The construction of mathematical model of an estimation of the informing of an image, processed by separate fragments, taking into account their combined differentiation and one-dimensional coding in the form of two-dimensional polyadic numbers according to the block scheme, is stated.

Keywords: technologies of compression, block code.

В настоящее время повышается роль и значимость видеоинформационных ресурсов в процессе решения общегосударственных задач. Важными направлениями исследований становятся вопросы, связанные с обеспечением доступности, целостности и достоверности видеоинформации. При этом особая проблематичность проявляется для приложений доставки видеоданных с использованием дистанционных систем сбора и передачи информации [1]. Здесь ключевым механизмом являются интегрируемые на борту технологии компрессии видовых изображений [2–5].

В тоже время реализация процессов устранения избыточности в изображениях имеет сложную структуру. Отсюда, *актуальная научно-прикладная задача* состоит

в повышение эффективности технологий сжатия видовых изображений для бортовых комплексов дистанционного сбора и доставки информации.

Эффективное направление сокращения избыточности в видовых изображениях с сохранением их целостности базируется на построении дифференциального описания [3; 5]. Однако данный подход характеризуется недостатком, заключающимся в том, что для насыщенных видовых изображений происходит резкое снижение коэффициента компрессии.

Выход из сложившейся ситуации заключается в использовании блочных кодовых конструкций для компактного представления массивов дифференциального представления. Одним из базовых механизмов для такого направления является полиадическое кодирование [3]. Поэтому *цель статьи* заключается в построении модели оценки информативности представления массивов дифференциального представления изображений на основе двумерного полиадического кодирования.

Разработка модели оценки информативности

Рассмотрим оценку количества Q'_Σ информации, содержащегося в цифровом изображении. Здесь необходимо учитывать, что изображение подвергается предварительному дифференцированию, которое осуществляется на основе комбинированного подхода, а кодовое представление базируется на одномерном кодировании двумерных полиадических чисел по блочной схеме [3].

Оценим сначала количество Q'_2 информации, приходящееся на один массив H' дифференциального представления. В рамках комбинаторной трактовки массив дифференциального представления рассматривается как комбинаторный объект – перестановка с повторениями на спецификации элементов которых наложены ограничения. В данном случае понятие неопределенности имеет комбинаторную трактовку, а количество информации Q'_2 , в среднем содержащееся в одном массиве H' , определяется по формуле $Q'_2 = \log_2 V_{n \times n}^{(2)}$.

Здесь величина $V_{n \times n}^{(2)}$ определяется количеством перестановок с повторениями, составленного из массива размером $n \times n$, элементы которого имеют ограничения на спецификации [3]. В соответствии с тем, что массив ДП представляется двумерным полиадическим числом, то спецификациями являются ограничения на динамический диапазон его элементов. Тогда для заданной системы оснований $\Lambda^{(2)}$ получим количество $V_{n \times n}^{(2)}$ допустимых массивов ДП, равное

$$V_{n \times n}^{(2)} = \prod_{k=1}^n \prod_{\ell=1}^n \lambda_{k\ell} = \prod_{k=1}^n \prod_{\ell=1}^n (d'_{k\ell} + 1).$$

В данной формуле $d'_{k\ell}$ – ограничения на динамический диапазон элементов $h'_{k\ell}$ массива ДП, вычисляемые как

$$d'_{k\ell} = \min \left\{ \max_{1 \leq \ell \leq n} (h'_{k\ell}); \max_{1 \leq k \leq n} (h'_{k\ell}) \right\}.$$

С учетом последних двух выражений, получим следующее соотношение для оценки количества Q'_2 информации, содержащееся в одном массиве дифференциального представления:

$$Q'_2 = \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \log_2 (\min \{ \max_{1 \leq \ell \leq n} (h'_{k\ell}); \max_{1 \leq k \leq n} (h'_{k\ell}) \} + 1). \quad (1)$$

При оцінці кількості інформації Q'_2 на основі формули (1) не учитывається умовне комбінованого формування масивів диференціального представлення. В той же час відомо, що в результаті використання такої технології можливі два типи масивів ДП, а саме:

перший тип – масиви диференціального представлення, отримані безпосередньо для вихідних фрагментів зображень;

другий тип – масиви ДП, сформовані з попереднім використанням одномерного ортогонального перетворення.

При цьому за умови комбінованого формування диференціального представлення для масивів першого типу мінімальна кількість відносної комбінаторної надлишковості S_{\min} оцінюється за формулою

$$S_{\min} = \left(\frac{Q_{\text{исх}}}{Q_2} - 1 \right) 100\% = \left(\frac{Q_{\text{исх}}}{Q_2} - 1 \right) 100\% = 100 \frac{Q_{\text{исх}}}{Q_2} \% - 100\% \geq S',$$

де S' – задане значення відносної надлишковості, $Q_{\text{исх}}$ – кількість інформації в масиві ДП без урахування структурно-комбінаторних обмежень, т.е. $Q_{\text{исх}} = n^2 b$.

Тут b – кількість бітів на представлення одного елемента вихідного зображення.

Отже для кількості інформації Q'_2 масивів першого типу буде виконуватися нерівність

$$Q'_2 \leq \frac{100 n^2 b}{100 + S'}. \quad (2)$$

Тепер, якщо прийняти, що кількість масивів ДП першого і другого типів відповідно дорівнює v_1 і v_2 , то загальна кількість інформації в зображенні, з урахуванням його обробки по окремих фрагментах розміром $n \times n$, оцінюється за наступним виразом:

$$Q'_\Sigma = \sum_{\xi=1}^{v_1} Q'(\xi)_2^{(1)} + \sum_{\xi=1}^{v_2} Q'(\xi)_2^{(2)}.$$

В данной формуле приняты следующие обозначения: $Q'(\xi)_2^{(1)}$ – количество информации в ξ -м массиве ДП первого типа; $Q'(\xi)_2^{(2)}$ – количество информации в ξ -м массиве ДП второго типа.

Полученное выражение с использованием формулы (1) запишется следующим образом:

$$Q'_\Sigma = \sum_{\xi=1}^{v_1} \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \log_2 (\min \{ \max_{1 \leq \ell \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(1)}); \max_{1 \leq k \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(1)}) \} + 1) + \quad (3)$$

$$+ \sum_{\xi=1}^{v_2} \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \log_2 (\min \{ \max_{1 \leq \ell \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}); \max_{1 \leq k \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}) \} + 1);$$

$$v_1 + v_2 = L_{\text{стр}} L_{\text{стб}} / n^2,$$

где $h'(\xi)_{k\ell}^{(1)}$, $h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}$ – элементы на позиции $(k; \ell)$ для ξ -го массива соответственно первого и второго типов дифференцирования; $(L_{\text{стр}} L_{\text{стб}} / n^2)$ – суммарное количество МДП размером , которое формируется для изображения, содержащего $L_{\text{стр}} \times L_{\text{стб}}$ элементов.

На основе соотношения (2) для выражения (3) будет выполняться неравенство

$$Q'_\Sigma \leq v_1 \frac{100 n^2 b}{100 + S'} + \sum_{\xi=1}^{v_2} \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \log_2 (\min \{ \max_{1 \leq \ell \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}); \max_{1 \leq k \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}) \} + 1). \quad (4)$$

В тоже время, исходя из свойств полиадических чисел, будет выполняться неравенство, указывающее на верхнюю границу количества разрядов на кодовое представление кода-номера $N^{(2)}$, т.е.

$$\log_2 N^{(2)} < \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \log_2 (d'_{k\ell} + 1),$$

где $\log_2 N^{(2)}$ – количество разрядов на представление кода-номера $N^{(2)}$ двумерного полиадического числа.

Поэтому правая часть соотношения (4) является оценкой верхней границы количества информации, которое может содержаться в изображении с учетом его комбинированного дифференцирования и одномерного кодирования двумерных полиадических чисел по блочной схеме.

Отсюда минимальное количество $R(\min)_\Sigma$ избыточности, которое потенциально может быть устранено в результате предложенной обработки изображения, оценивается по формуле

$$R(\min)_{\Sigma} = L_{\text{стр}} L_{\text{стб}} \log_2 b - v_1 \frac{100 n^2 b}{100 + S'} + \sum_{\xi=1}^{v_2} \sum_{k=1}^n \sum_{\ell=1}^n \log_2 (\min \{ \max_{1 \leq \ell \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}); \max_{1 \leq k \leq n} (h'(\xi)_{k\ell}^{(2)}) \} + 1) \quad (5)$$

Значит, построена математическая модель оценки информативности изображения, обрабатываемого по отдельным фрагментам с учетом их комбинированного дифференцирования, и одномерного кодирования в виде двумерных полиадических чисел по блочной схеме.

Откуда можно заключить, что в результате представления последовательности элементов МДП в виде двумерного полиадического числа осуществляется сокращения структурно-комбинаторной избыточности, обусловленной ограничениями на динамический диапазон.

Поскольку двумерное полиадическое число формируется для массивов дифференциального представления видеоданных, то значения его кода-номера будет зависеть от следующих свойств изображений: степени коррелированности между элементами изображения; размеров областей когерентности; степени насыщенности изображения перепадами, мелкими объектами и импульсными всплесками.

Следовательно, модель оценки информативности фрагментов изображений учитывает неравномерности распределения и ограниченности значений динамических диапазонов элементов массивов дифференциального представления.

Особенность массива дифференциального представления заключается в том, что он содержит элементы, имеющие наибольшие динамические диапазоны. Это является причиной увеличения значения кода-номера. Причем характер такой зависимости близок к экспоненциальному (рис. 1). На рис. 1 используются следующие обозначения: \bar{Q}'_{Σ} – среднее количество информации, приходящееся на один элемент изображения; $Q_{\text{исх}}$ – количество информации без выявления закономерностей.

В результате анализа графиков на рис. 3.1 можно заключить, что:

- зависимость количества \bar{Q}'_{Σ} информации от длины двумерного полиадического числа близка к экспоненциальной зависимости;
- с ростом динамического диапазона количество минимальной потенциальной S_{min} избыточности также уменьшается по экспоненте вплоть до нулевого значения.

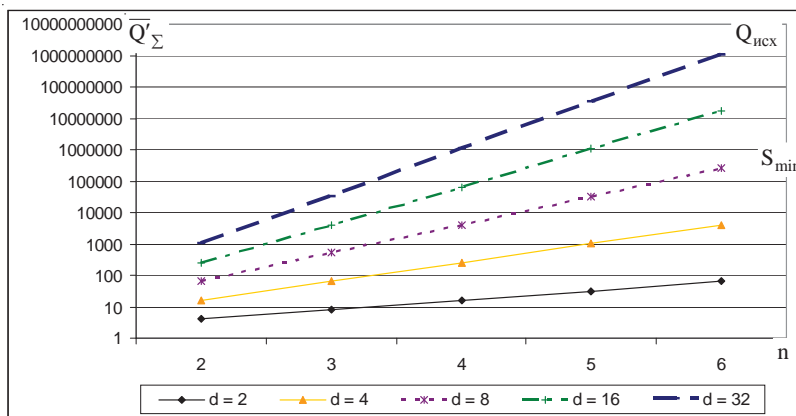


Рис. 1. График зависимости количество \bar{Q}'_{Σ} информации от d и n

В случае обработки насыщенных изображений будут образовываться массивы ДП, содержащие одновременно как фрагменты с большим динамическим диапазоном, так и с ограниченным динамическим диапазоном. Поэтому для выхода из такой ситуации предлагается учитывать двухградационность динамических диапазонов массивов дифференциального представления реалистических изображений.

Выводы

1. Построена математическая модель оценки информативности изображения обрабатываемого по отдельным фрагментам с учетом их комбинированного дифференцирования и одномерного кодирования в виде двумерных полиадических чисел по блочной схеме. Созданная модель позволяет оценить количество информации в массиве ДП, а также количество комбинаторной избыточности в МДП в зависимости значений динамических диапазонов. В результате чего обосновано, что массив дифференциального представления имеет комбинаторную избыточность.

2. Значения его кода-номера двумерного полиадического числа на базе массива дифференциального представления будет зависеть от следующих свойств изображений: степени коррелированности между элементами изображения; размеров областей когерентности; степени насыщенности изображения перепадами, мелкими объектами и импульсными всплесками.

3. Обосновано, что в результате одномерного полиадического кодирования по блочной схеме сокращается комбинаторная избыточность, обусловленная с одной стороны коррелированностью областей изображений, а с другой стороны - наличием ограниченного количества мелких объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений : Конспект лекций / В.Б. Кашкин. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 121 с.
2. *Сэлмон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
3. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. – Х. : ХУПС, 2009. – 252 с.
4. *Баранник В.В.* Методология обработки изображений в системах аэрокосмического мониторинга / В.В. Баранник, Ю.Н. Колтун // Сучасна спеціальна техніка. – 2011. – № 1 (24). – С. 12–17.

Отримано 10.04.2013