

Методология построения апертурно-координатного представления для обработки изображений с контролируемой погрешностью

Государственная инспекция связи Украины

1. Введение

Одной из проблем создания телекоммуникационных систем следующего поколения (NGN) заключается в организации своевременного и гарантированного доведения мультимедийной информации [1]. Данная проблема связана с большими объемами видеоданных, циркулирующими в системах. Отсюда увеличивается нагрузка на сети и растет время доведения данных. Одним из направлений решения данного противоречия заключается в сокращении объемов видеоданных за счет их компактного представления. В тоже время известные методы не обеспечивают требуемых коэффициентов компрессии изображений для заданного уровня достоверности [2; 3]. Отсюда **актуальность научной задачи** связанной с повышением степени сжатия с контролируемой погрешностью при обработке цифровых изображений.

В классе методов сжатия с контролируемой погрешностью интерес представляют методы обработки на основе формирования апертурно-координатного представления. Однако существующие подходы в обработки изображений на основе выявления апертур позволяют проводить сжатие в основном за счет устранения психовизуальной и статистической избыточности [2]. Поэтому важным направлением исследований является построение подхода базирующегося на возможности выявить структурные закономерности. Отсюда **цель исследований** заключается в разработке методологии построения апертурно-координатного представления изображений, позволяющего выявить структурные закономерности.

2. Основной материал исследований

Для обобщения различных подходов относительно представления изображений на основе выявления одинаковых цепочек элементов видеоданных, введем понятие апертурно-координатного описания (АКО) [4 – 7]. Характеристикой апертуры является ее диаметр D . Значение величины D выбирается в соответствии с требуемым качеством восстановления изображений и рассчитывается по формуле

$$D = \ell_{\xi, v_{\xi}}^{(\max)} - \ell_{\xi, v_{\xi}}^{(\min)}, \quad (1)$$

где $\ell_{\xi, v_{\xi}}^{(\min)}$, $\ell_{\xi, v_{\xi}}^{(\max)}$ - значения соответственно нижней и верхней границ диаметра $(\xi; v_{\xi})$ -й апертуры; ξ - номер строки кадра изображения, $\xi = \overline{1, Q_{\text{стр}}}$; $Q_{\text{стр}}$ - коли-

чество строк в кадре изображения; v_ξ - индекс апертуры в ξ -й строке кадра изображения, $v_\xi = \overline{1, Q_\xi}$; Q_ξ - количество апертур в ξ -й строке кадра

$$Q_{\text{стрб}} = \sum_{v_\xi=1}^{Q_\xi} r_{\xi, v_\xi}, \quad (2)$$

$Q_{\text{стрб}}$ - количество элементов в строке кадра изображения; r_{ξ, v_ξ} - длина $(\xi; v_\xi)$ -й апертуры.

В качестве координаты l_{ξ, v_ξ} для $(\xi; v_\xi)$ -й апертуры на шкале цветности принимается среднее арифметическое между ее верхним и нижним значениями

$$l_{\xi, v_\xi} = (\ell_{\xi, v_\xi}^{(\max)} + \ell_{\xi, v_\xi}^{(\min)}) / 2. \quad (3)$$

Выявление апертур проводится по строкам кадра в направлении слева на право (рис 2.2). Это позволяет выявлять характеристики апертур по строчной развертке, что в конечном счете снижает время обработки изображения.

Последняя Q_ξ апертура заканчивается на последнем $x_{\xi, Q_{\text{стрб}}}$ элементе строки. Соответственно первая апертура в строке начинается с первого элемента $x_{\xi, 1}$. Построение апертур осуществляется на основе следующих выражений:

- для условия

$$\ell_{\xi, v_\xi}^{(\min)} \leq x_{\xi, \gamma} \leq \ell_{\xi, v_\xi}^{(\max)}, \quad \gamma = \overline{1, Q_{\text{стрб}}} \quad (4)$$

следует, что текущий элемент принадлежит формируемой апертуре $x_{\xi, \gamma} \in \ell_{\xi, v_\xi}$, а длина апертуры увеличивается на единицу $r_{\xi, v_\xi} = r_{\xi, v_\xi} + 1$;

- если выполняется одно из условий

$$\ell_{\xi, v_\xi}^{(\min)} \geq x_{\xi, \gamma} \quad \text{или} \quad x_{\xi, \gamma} \leq \ell_{\xi, v_\xi}^{(\max)}, \quad (5)$$

тогда с элемента $x_{\xi, \gamma}$ начинает формироваться новая апертура, т.е. $r_{\xi, v_\xi} = 1$;

- в случае завершения выявления апертур для текущей ξ -й строки кадра

$$v_\xi = Q_\xi \quad \text{и} \quad x_{\xi, Q_{\text{стрб}}} \in \ell_{\xi, Q_\xi}, \quad (6)$$

начинает формироваться новая апертура с элемента $x_{\xi+1, 1}$:

$$r_{\xi+1, 1} = 1, \quad \ell_{\xi+1, 1}^{(\min)} = x_{\xi+1, 1} \quad \text{и} \quad \ell_{\xi+1, 1}^{(\max)} = x_{\xi+1, 1} + D. \quad (7)$$

Выявление апертур заканчивается тогда, когда обработан последний элемент $x_{Q_{\text{стр}}, Q_{\text{стрб}}}$ кадра изображения.

Определение 2.1. Апертурно-координатное описание (АКО) изображений (размером $Q_{\text{стр}} \times Q_{\text{стрб}}$ элементов) представляет собой множество $\Theta = \{\theta_{\xi, v_\xi}\}$, $\xi = \overline{1, Q_{\text{стр}}}$, $v_\xi = \overline{1, Q_\xi}$, (Q_ξ - количество апертур в ξ -й строке кадра) состоящее из двухкомпонентных последовательностей $\theta_{\xi, \gamma} = \{\ell_{\xi, \gamma}, r_{\xi, \gamma}\}$, содержащих в себе длину апертуры $r_{\xi, \gamma}$ и ее координату $\ell_{\xi, \gamma}$ на шкале цветности (рис. 1).

Согласно выражениям (4) – (7) АКО для кадра изображения в начальном виде представляется множеством, состоящем из $Q_{\text{стр}}$ наборов $\Theta = \{\theta_{\xi, \nu_{\xi}}\}$. Различные подходы относительно исключения избыточности изображений, базирующиеся на формировании АКО отличаются видом кодирования (формирования битовой кодограммы) информации о величинах $r_{\xi, \gamma}$ и $\ell_{\xi, \gamma}$. При этом можно выделить две группы методов. Первую группу методов сжатия на основе АКО отличается тем, что кодограмма формируется совместно для величин $r_{\xi, \gamma}$ и $\ell_{\xi, \gamma}$. Такую группу представляют методы LZW. Вторая группа наоборот состоит из методов, предусматривающих отдельную обработку длин апертур и их координат в шкале цветности. Для этого используются методы, включающие алгоритм RLE. В случае отдельной обработки величин $r_{\xi, \gamma}$ и $\ell_{\xi, \gamma}$ для исходного фрагмента изображения $X = \{x_{\xi, \gamma}\}$, $\xi = \overline{1, Q_{\text{стр}}}$, $\gamma = \overline{1, Q_{\text{стб}}}$ предлагается формировать два массива A_{ℓ} (массив координат апертур на цветовой шкале) и массив длин апертур A_r . На время формирования массивов A_{ℓ} и A_r влияет порядок обхода оцифрованного изображения. Наименьшее время отображения информации на экране достигается при построчном порядке выявления апертур и их координат. Тогда при восстановлении изображения оно будет выводиться на экран по мере восстановления элементов изображений по координатам и по количеству их повторения (длинам апертур). Поэтому предлагается организовывать заполнение массивов A_{ℓ} и A_r по строкам в направлении слева - направо. При этом отбор компонент АКО также осуществляется в направлении строк. Для каждого последующего фрагмента процесс разбиения изображения на координаты и длины апертур начинается сначала. Чтобы обеспечить восстановление исходного изображения с заданным качеством требуется организовать взаимнооднозначность между массивами длин апертур и массивами их координат на цветовой шкале. Взаимнооднозначность массивов A_{ℓ} и A_r состоит в следующем: элемент зоны длин апертур должен отражать истинное количество повторов элемента зоны координат; количество элементов в зоне координат должно быть равно количеству элементов в зоне длин апертур; должно выполняться соответствие между координатами зон.

Значит нужно организовать поиск и выборку в массивах длин апертур и в массивах их координат таких элементов, которые бы позволили провести данный этап обработки без погрешностей. Поэтому предлагается выбирать размерность массивов A_{ℓ} и A_r одинаковой и равной $m \times n$ элементов. Это позволит:

- 1) исключить обработку для определения зон взаимнооднозначности. Поскольку координаты зоны массива длин апертур будут соответствовать координатам зоны массивов координат;
- 2) избежать хранения координат начала и конца каждой зоны;
- 3) сократить количество операций в процессе восстановления видеоданных на этапе формирования исходных фрагментов изображений на базе апертурно-координатной формы.

Для предложенного порядка обеспечения взаимнооднозначности формирование массивов A_{ℓ} и A_r проводится на основе следующих действий.

Рассмотрим вариант заполнения массивов A_ℓ и A_r на основе компонент ξ -й строки множества Ω апертурно-координатного описания изображения.

Первый шаг. Определение начальных элементов массивов A_ℓ и A_r :

$$\ell_{11} = \theta_{\xi,1}^{(1)}, \quad r_{11} = \theta_{\xi,1}^{(2)}, \quad (8)$$

где $\theta_{\xi,1}^{(1)}$, $\theta_{\xi,1}^{(2)}$ - соответственно первая и вторая компонента вектора $\theta_{\xi,1}$:

$$\theta_{\xi,1} = \{ \theta_{\xi,1}^{(1)} = \ell_{\xi,1}, \theta_{\xi,1}^{(2)} = r_{\xi,1} \}.$$

На $(i; j)$ -м шаге формирования массивов апертур и координат проверяется позиция элементов заполняемых массивов. Если $j \leq n$ (следовательно, текущая строка не заполнена), то проверяется условие

$$(i-1)n + j \leq Q_\xi, \quad (9)$$

где $((i-1)n + j)$ - количество компонент ξ -й строки множества Ω , которые уже распределены по массивам апертур и их координат.

Когда условие (9) выполняется, то $\ell_{ij} = \theta_{\xi, (1+(j-1))}^{(1)}$, $r_{ij} = \theta_{\xi, j}^{(2)}$.

В противном случае, т.е. $(i-1)n + j > Q_\xi$, не отобранные компоненты в ξ -й строке множества Ω АКО отсутствуют. Проводится переход на отбор компонент из $(\xi+1)$ -й строки. Тогда элементы заполняемых массивов будут соответственно равны: $\ell_{ij} = \theta_{\xi+1,1}^{(1)}$, $r_{ij} = \theta_{\xi+1,1}^{(2)}$.

Если $j > n$ (т.е. закончено формирование i -й строки массивов апертур и их координат), то проверяется условие

$$(i+1) \leq m. \quad (10)$$

В случае когда условие (2.13) выполняется, то осуществляется переход на заполнение очередной $(i+1)$ -й строки массивов A_ℓ и A_r . При этом элементы с координатами $(i+1,1)$ в зависимости от наличия не распределенных компонент в ξ -й строке множества Ω находятся по формулам:

$$\ell_{i+1,1} = \theta_{\xi,j}^{(1)} \quad \text{и} \quad r_{i+1,1} = \theta_{\xi,j}^{(2)}, \quad \text{для} \quad (i-1)n + j \leq Q_\xi; \quad (11)$$

$$\ell_{i+1,1} = \theta_{\xi+1,1}^{(1)} \quad \text{и} \quad r_{i+1,1} = \theta_{\xi+1,1}^{(2)}, \quad \text{для} \quad (i-1)n + j > Q_\xi. \quad (12)$$

Когда выполняется неравенство $(i+1) > m$, следовательно, массивы A_ℓ и A_r заполнены полностью. Тогда проверяется условие на наличие нераспределенных компонент в АКО

$$zmn < \sum_{\xi=1}^{Q_{\text{стр}}} Q_\xi, \quad (13)$$

где $\sum_{\xi=1}^{Q_{\text{стр}}} Q_\xi$ - суммарное количество компонент в апертурно-координатном представлении изображения; z - количество массивов апертур или массивов их координат, $z = \overline{1, Z}$; Z - суммарное количество массивов A_ℓ и A_r , которое формируется на основе компонент множества Ω ; zmn - текущее количество элементов в z массивах апертур или в z массивах их координат.

Если условие (13) верно, то организуется переход на заполнение очередных массивов A_ℓ и A_r . Наоборот если $z_{mn} \geq \sum_{\xi=1}^{Q_{\text{стр}}} Q_\xi$, то все компоненты апертурно-координатного описания изображения распределены по массивам A_ℓ и A_r . Тогда процесс формирования массивов апертур и массивов их координат считается завершенным. На выходе получают следующие массивы: $A_\ell = \{\ell_{ij}\}$, $A_r = \{r_{ij}\}$, где ℓ_{ij} , r_{ij} - (i;j)-е элементы соответственно массива координат и массива апертур.

Таким образом, на основе выражений (8) – (13) обеспечивается формирование апертурно-координатного раздельного описания изображений.

2. Выводы

1. Построена методология апертурно-координатного представления изображений с контролируемой погрешностью. Выявлено, что: в массивах апертур относительно массивов длин серий одинаковых элементов обеспечивается увеличение средней длины апертуры; в массивах координат существует закономерность обусловленная неравномерностью соседних элементов.

2. Обосновано, что данный подход позволяет осуществить сжатие изображений на основе выявления структурной закономерностей в массивах апертур и массивах их координат.

Список литературы

1. Уолрэнд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. – М.: Постмаркет, 2001. – 480 с.
2. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
3. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / Под ред. И.Б. Фоменко. – М.: Связь, 1980. – 248 с.
4. Королев А.В., Баранник В.В. Оценка степени сжатия изображения // Электрон. моделирование. – 2002. – № 4. – С. 33 – 42.
5. Баранник В.В., Гуржий П.Н. Кодирование массивов цветowych координат в разностном полиадическом пространстве // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2005, Вип. 1 (9). – С. 44 – 49.
6. Баранник В.В., Гуржий П.Н. Метод сжатия цветowych координат и длин серий в смешанном полиадическом пространстве // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ, НАНУ.– 2005. – Вип. 33. – С. 220– 223.
7. Стасев Ю.В., Баранник В.В., Бридня Е.А. Информационная модель апертурного представления // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2006. – Вып. 33. – С. 47 – 56.