УДК 621.327

В.В. Баранник, А.В. Яковенко

Методика оценки помехоустойчивости кодограмм двумерного плавающего полиадического представления трансформант Уолша

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

1. Введение

Организация компактного представления видеоданных в телекоммуникационных системах имеет важную особенность, состоящую в необходимости учитывать влияние ошибок канала связи при восстановлении изображений на приемной стороне [1; 2]. Существующие методы сжатия, основанные на использовании энтропийных кодов характеризуются низкой помехоустойчивостью к ошибкам в канале связи. Это приводит к потери важной информации или к снижению степени сжатия в результате добавления корректирующих разрядов. В работе [3] изложен метод компрессии, базирующийся на сокращении комбинаторной избыточности в трансформантах двумерного преобразования Уолша (ДПУ). Однако для формирования рекомендаций относительно области представления данного метода требуется провести оценку его помехоустойчивых возможностей. Отсюда ***цель исследований*** состоит в создании методики оценки помехоустойчивости кодограмм плавающего полиадического представления трансформант ДПУ к ошибкам канала связи.

2. Основной материал исследований

Разработанная в работе [3] технология компактного представления относится к классу представления изображений с контролируемой погрешностью. Погрешности вносятся на этапе округления результата нормировки дискретного значения коэффициента базиса Уолша и носят контролируемый характер. В случае передачи кодограмм сжатого изображения по каналу связи с ошибками могут возникнуть дополнительные искажения при восстановлении изображения на приемной стороне. Определим величину погрешности e_{ij} для восстановленного элемента $x^{\bullet}_{ij}$ изображения как $e_{ij} = x^{\bullet}_{ij} - x_{ij}$, где x_{ij} - исходное значение $(i; j)$-го элемента изображения. Значение величины e_{ij} зависит от ошибок округления, вносимых в процессе сжатия, и от ошибок, возникающих при передаче кодов по каналам связи.

Для разработанного метода информационная часть двоичной кодограммы S несет информацию о значении кода-номера $N^{(\gamma)}_h$ двумерного плавающего полиадического числа, сформированного на базе трансформанты преобразования Уолша (рис. 1). На рис. 1 величина $L^{(\gamma)}_h$ равна количеству разрядов, требуемых для представление максимально возможного значения кода-номера ДППЧ для заданной системы динамических диапазонов и длины полиадического числа h, $L_h^{(\gamma)} = \ell og_2 d_1V_1^{(\gamma)}$, где $d_1V_1^{(\gamma)}$ - значение произведения величины весового коэффициента старшего элемента ДППЧ на соответствующее ему значение динамического диапазона.

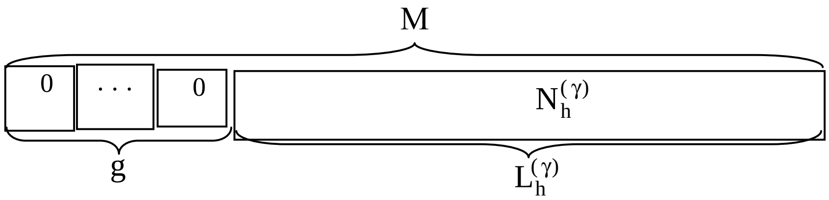

Рис. 1. Схема кодограммы S, содержащей значение кода-номера $N_h^{(\gamma)}$

Если первому элементу соответствует компонента ДПУ с координатами $(k;\eta)$, то величина $d_1V_1^{(\gamma)}$ равна $d_1V_1^{(\gamma)} = V_{k\eta}^{(\gamma)} = \prod_{\phi=k}^{n} d_{\phi\eta} \prod_{\phi=1}^{m} \prod_{\ell=\eta+1}^{n'} d_{\phi\ell} \prod_{\phi=1}^{m''} d_{\phi,n'+1}$. Величина g равна количеству незначимых разрядов, определяемых как

$$g = M - L_h^{(\gamma)}, \tag{1}$$

где M - количество разрядов на представление кодограммы S.

Значения незначимых разрядов равны 0. Если в процессе передачи кодограммы по каналу связи произошла ошибка, то будет получена величина $S^\bullet$. Величина погрешности $\varepsilon_h^{(\gamma)}$ на этапе рассмотрения кодограммы равна

$$\varepsilon_h^{(\gamma)} = S^\bullet - S. \tag{2}$$

В общем случае значение величины $S^\bullet$ равно

$$S^\bullet = \ell_1 2^{M-1} + ... + \ell_g 2^{M-g} + \ell_{L_h^{(\gamma)}} 2^{M-L_h^{(\gamma)}} + \ell_1 2^0, \tag{3}$$

где ℓ_ξ - значение ξ-го разряда кодограммы, $\xi = \overline{1, M}$, которое может быть принято с ошибкой.

Помехи в канале связи могут привести к ошибки, как в значимых, так и в не значимых разрядах кодограммы. Для варианта появления ошибки в незначимых разрядах, т.е. $\ell_\xi = 1$, $\xi = \overline{1, g}$ соответствует условие

$$L_h^{(\gamma)} < S^\bullet. \tag{4}$$

Выполнение условия (4) обусловлено тем, что незначимые разряды являются старшими разрядами кодограммы и равны 0. С другой стороны согласно свойствам двумерного полиадического представления выполняется условие

$$N_h^{(\gamma)} < L_h^{(\gamma)}. \tag{5}$$

Следовательно, выполнив проверку неравенства (4), перед началом декодирования кода-номера $N_h^{(\gamma)}$ можно обнаружить ошибки. Значит на основе правила, заданного неравенством (4) существует возможность обнаружить любое количество ошибок в старших разрядах, для которых выполняется условие

$$\ell_\xi = 1, \quad \text{для } 1 \le \xi \le g . \tag{6}$$

Ошибки в старших разрядах, для которых выполняется условие (6), исправляются путем их обнуления. Тогда $\varepsilon_h^{(\gamma)} = 0$, а, следовательно, $e_{ij} = 0$.

Для случая появления ошибок в значимых разрядах кодограммы неравенство (4) не является условием для обнаружения и исправления ошибок. Тогда на основе обработки кодограммы считывается значение кода-номера, равное $N_h^{(\gamma)\bullet}$. Выполняется неравенство $N_h^{(\gamma)} \neq N_h^{(\gamma)\bullet}$, а величина погрешности $\varepsilon_h^{(\gamma)}$ будет равна $\varepsilon_h^{(\gamma)} = N_h^{(\gamma)\bullet} - N_h^{(\gamma)}$. В этом случае помехоустойчивость будет зависеть от свойств локализации величины ошибки в исходных элементах изображения и локализации количества ν_γ элементов изображения восстановленных с ошибкой. Наибольшее распространение ошибки может достигаться на этапе двумерного плавающего полиадического декодирования. Это объясняется тем, что код-номер ДППЧ несет информацию о нескольких компонентах трансформанты двумерного преобразования Уолша. Поэтому проведем оценку помехоустойчивых способностей кодовых конструкций двумерных плавающих полиадических чисел к ошибкам в канале связи. Для этого требуется оценить влияние количества $\nu(M)$ и расположения ошибок, возникших в кодограмме при ее передачи по каналу связи, на обнаруживающие, самокорректирующие, перераспределяющие и локализирующие возможности без использования корректирующих разрядов.

Поскольку двумерное плавающее представление является взаимооднозначным, то найдется хотя бы одна компонента, отличающаяся своим значением от исходного. Определим величину погрешности $e(y)_{k\eta}$ на этапе декодирования кода-номера ДППЧ как

$$e(y)_{k\eta} = y^{\bullet}_{k\eta} - y_{k\eta}, \tag{7}$$

где $y_{k\eta}$, $y^{\bullet}_{k\eta}$ - соответственно исходное и восстановленное значения компоненты трансформанты ДПУ.

Для определения помехоустойчивых свойств двумерного плавающего представления сформулируем следующие утверждения[4; 5].

1. Абсолютная величина погрешности $e(y)_{k\eta}$, вызванная ошибкой в коде-номере ДППЧ, не превышает величины динамического диапазона $(d_{k\eta} - 1)$ соответствующей компоненты:

$$\left| e(y)_{k\eta} \right| \le (d_{k\eta} - 1). \tag{8}$$

2. Для произвольных значений кода-номера $N_h^{(\gamma)}$ и компонент вектора динамических диапазонов $\{d_\eta\}$, $\eta = \overline{1, h}$ элементы ДППЧ начиная с элемента y_u и заканчивая первым элементом y_1 ДППЧ будут восстановлены с нулевой погрешностью, т.е.

$$e(y)_\xi = 0 \text{ для } \xi = \overline{1, u} \tag{9}$$

если выполняется неравенство [5]:

$$\begin{cases} \varepsilon_h^{(\gamma)} < V_u - \Delta N(u+1, h), \rightarrow \varepsilon_h^{(\gamma)} > 0; \\ \left| \varepsilon_h^{(\gamma)} \right| \le \Delta N(u+1, h), \quad \rightarrow \varepsilon_h^{(\gamma)} < 0, \end{cases} \tag{10}$$

где $\Delta N(u+1, h)$ - взвешенная сумма элементов видеоданных, следующих после i-го элемента.

3. Если абсолютное значение погрешности $\varepsilon_h^{(\gamma)}$ кратно величине $d_u V_u$:

$$\left|\varepsilon_h^{(\gamma)}\right| \bmod (d_u V_u) = 0\,, \tag{11}$$

то для произвольного значения $N_h^{(\gamma)}$ разность между исходным и восстановленным значением u-го элемента ДППЧ равна нулю, т.е. $e(y)_u = 0$.

Рассмотрим процесс обеспечения помехоустойчивости при декодировании кодов-номеров ДППЧ на приемной стороне. Допустим, что в результате помех канала связи в кодограмме произошла серия ошибок. Наиболее старший разряд кодограммы в котором произошла ошибка имеет ξ-ю позицию (рис. 2).

В этом случае абсолютная величина ошибки $\varepsilon_h^{(\gamma)}$ вычисляется по формуле

$$\varepsilon_h^{(\gamma)} = \theta_\xi 2^{M-\xi} + \ldots + \theta_\tau 2^{M-\tau} + \ldots + \theta_M 2^0\,, \tag{12}$$

где θ_ξ - двоичное значение старшего ξ-го разряда серии искаженных разрядов, в котором произошла ошибка.

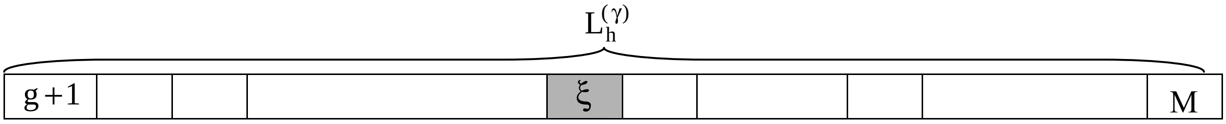

Рис. 2. Схема значимых разрядов кодограммы, содержащей серию ошибок

Величина $\varepsilon_h^{(\gamma)}$ принадлежит рабочему диапазону значений двумерного плавающего полиадического представления. Значит величина $\varepsilon_h^{(\gamma)}$ может быть представлена в виде полиадического числа с основаниями, равными d_ℓ, $\ell = h$:

$$\varepsilon_h^{(\gamma)} = \sum_{\ell=1}^{u} \varepsilon_\ell V_\ell\,. \tag{13}$$

где ε_ℓ – компонента величины $\varepsilon_h^{(\gamma)}$, представленной как код-номер полиадического числа; u - старшая компонента полиадического числа E, $E = \{0;\ldots 0;\varepsilon_u;\ldots\varepsilon_1\}$, значение которой отлично от 0. Тогда схема организации локализации распространения ошибок на этапе двумерного плавающего полиадического декодирования заключается в выполнении следующих этапов:

1. На основе условия (10) будет существовать пороговая зона, дальше которой размножение ошибок не пойдет. В данном случае граничным элементом возможной зоны размножения ошибки является компонента с индексом u. Отсюда следует, что ошибки могут произойти в компонентах, координаты которых находятся в диапазоне $[u;h]$. Поэтому условие (10) определяет свойство локализации количества искаженных компонент трансформант ДПУ.

2. Для компонент ДППЧ, координаты которых принадлежат диапазону $[u;h]$ проявляются следующие свойства: обеспечивается локализация величины ошибки $e(y)_u$ на основе условия (8); происходит самокоррекция ошибки на основе условия (11). Поэтому условия (8), (10) и (11) задают помехоустойчивые свойства для двумерного плавающего полиадического представления, состоящие в локализации количества искаженных элементов и ограничении величины искажения. В результате выполнения обратного двумерного преобразования Уолша происходит дополнительное сглаживание (уменьшение величины) ошибки.

Данные характеристики влияют на определение величины $\sigma^2_{\text{ош}}$ среднеквадратического показателя погрешности при восстановлении изображений. Пиковое значение отношения сигнал/шум равно

$$h = 20\ell g(2^M / \sigma_{\text{ош}}). \qquad (14)$$

Экспериментальные исследования зависимости величин $\sigma^2_{\text{ош}}$ и h от вероятности ошибки в канале связи для сильнонасыщенных реалистических изображений показали, что значение отношения сигнал/шум находится на уровне не ниже 30 дБ, что обеспечивает требуемое качество восстановленных изображений.

Таким образом, созданные технологии компрессии и декомпрессии изображений на основе двумерного плавающего полиадического представления трансформант ДПУ, обладают помехоустойчивыми свойствами к ошибкам в канале связи, состоящими в локализации количества ошибок и их величины. Это позволяет совместно с контролируемостью ошибок округления на этапе выполнения ДПУ обеспечить требуемый уровень достоверности восстанавливаемых видеоданных (пиковое значение ОСШ не ниже 30 дБ).

2. Выводы

Построена методика оценки помехоустойчивости кодограмм двумерного плавающего полиадического представления трансформант ДПУ к ошибкам в канале связи. Отличительные особенности построенной модели заключаются в том, что учитываются помехоустойчивые свойства двумерного плавающего представления (локализация количества ошибок и ограничение их значений) и свойство сглаживания величины ошибки на этапе обратного ДПУ. Это позволяет совместно с контролируемостью ошибок округления на этапе выполнения ДПУ обеспечить требуемый уровень достоверности восстанавливаемых видеоданных (пиковое значение ОСШ не ниже 30 дБ).

Список литература

1. Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. – 384 с.
2. Королев А.В., Баранник В.В. Метод восстановления изображений // Системи обробки інформації. – Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 2 (12). – С. 21 – 25.
3. Баранник В.В., Яковенко А.В. Методологический подход для формирования полиадических чисел на основе аппроксимации видеоданных дискретными базисами Уолша // Системи управління, навігація та зв'язок. – 2008. – № 2 (16). – С. 143 – 147.
4. Королев А.В., Баранник В.В. Помехоустойчивость полиадических кодов трансформант ДКП к ошибкам в канале святи // Системи обробки інформації. – Харків: ХФВ "Транспорт України". – 2000. – Вип. 4(10). – С. 99 – 103.
5. Баранник В.В., Сидченко С.А. математическая модель процесса распространения ошибок // Системи управління навігація та зв'язок. – 2008. – Вип. 1(15). – С. 141 – 149.