

УДК 629.391

В.В. БАРАННИК*Харьковский университет Воздушных Сил, Украина*

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ БИНОМИАЛЬНО-ПОЛИАДИЧЕСКИХ КODOVЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИХ ПЕРЕДАЧЕ ПО КАНАЛУ СВЯЗИ С ОШИБКАМИ

Излагается оценка помехоустойчивых свойств кодов-номеров биномиально-полиадических последовательностей к воздействию ошибок канала связи. Проводится сравнительный анализ помехоустойчивости известных методов сжатия с биномиально-полиадическим представлением.

биномиально-полиадическое представление, локализация, самокоррекция и обнаружение ошибок

Введение

Важнейшее требование к телекоммуникационным системам заключается в своевременном доведении достоверной информации. Для этого необходимо использовать подсистемы сжатия без внесения погрешности, а также требуется обеспечивать помехоустойчивость данных, передаваемых по каналам связи [1 – 4]. В то же время из-за влияния ошибок в канале связи при восстановлении данных, сжатых такими методами, как кодирование длинами серий, арифметическое кодирование и неравномерное поэлементное кодирование, возникают существенные потери информации [2, 3]. При добавлении корректирующих разрядов к кодовым комбинациям сжатых данных происходит резкое уменьшение степени сжатия вплоть до увеличения первоначального объема [2 – 4]. Поэтому актуальным направлением является разработка методов сжатия без внесения погрешности, обладающих помехоустойчивыми свойствами.

Формулирование проблемы. Один из методов, обеспечивающий дополнительное повышение степени сжатия без внесения погрешности относительно методов статистического кодирования, основан на биномиально-полиадическом

представлении [5, 6]. Однако неизвестно, как повлияют ошибки в канале связи при восстановлении биномиально-полиадических чисел. В связи с этим необходимо оценить помехоустойчивые свойства биномиально-полиадических кодовых конструкций к ошибкам, возникающим в канале связи.

Оценка помехоустойчивых свойств биномиально-полиадических кодовых конструкций

На правильное распознавание объектов основное влияние оказывает величина поэлементного отклонения восстановленного от исходного изображения [3 – 6]. Поэтому для оценки помехоустойчивых свойств требуется определить влияние ошибок, возникающих при передаче данных по каналу связи, на величину отклонения восстановленных видеоданных от исходных и на количество искаженных элементов. В качестве статистической меры влияния ошибок на точность распознавание объектов принято использовать величину отношения сигнал/шум h [3 – 6]. Значение величины h вычисляется по формуле

$$h = 10 \lg \frac{\sigma_x^2}{\sigma_{ш}^2}, \quad (1)$$

где $\sigma_x^2 = 256^2$, 256 – количество уровней квантования; σ_{uu}^2 – показатель погрешностей, вызванных процессом передачи по каналу связи с ошибками

$$\sigma_{uu}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{Z_{cmp}} \sum_{j=1}^{Z_{cm\bar{b}}} (e_{ij})^2}{Z_{cmp} \times Z_{cm\bar{b}}}, \quad (2)$$

где Z_{cmp} , $Z_{cm\bar{b}}$ – соответственно количество строк и столбцов в кадре изображения; a_{ij} , a_{ij}^{\bullet} – соответственно исходное и восстановленное значение ij -го элемента изображения; e_{ij} – погрешность, образуемая при восстановлении по искаженному коду $N(w, \Lambda)^{\bullet}$, равная

$$e_{ij} = a_{ij} - a_{ij}^{\bullet}. \quad (3)$$

Определим величину σ_{uu}^2 [3, 4]:

$$\sigma_{uu}^2 = f_k(F(p_0), \overline{e_k}),$$

где $\overline{e_k}$ – средневзвешенная ошибка, появляющаяся после восстановления информации.

Величина $\overline{e_k}$ зависит от характера ошибок в канале связи и от поведения этих ошибок с учетом особенностей разработанных методов сжатия и восстановления изображений; $F(p_0)$ – закон появления ошибок в канале связи. В качестве модели канала выберем двоично-симметричный канал (ДСК). Тогда закон $F(p_0)$ формулируется следующим образом: ошибки в двоичных разрядах возникают независимо друг от друга с вероятностью p_0 [1–3].

Рассмотрим особенности структуры биномиально-полиадических конструкций [5, 6]. Для такого метода кодовая комбинация состоит из матриц кодов-номеров $N(w, \Lambda)_u$ биномиально-полиадических чисел и кодов-номеров $N(w, \Lambda)_{cl}$ служебной информации. В состав служебной части входят коды максимальных значений Λ в строках

массивов видеоданных и значения суммы w элементов видеоданных. Ошибки в служебной части кода вносят больший вклад в суммарную ошибку восстановления изображения. Следовательно, служебная часть кодовых комбинаций требует наложения корректирующих кодов. В связи с этим представляет интерес определить помехоустойчивость кодов-номеров биномиально-полиадических чисел к ошибкам в канале связи без добавления корректирующих разрядов.

С учетом вышесказанного показатель σ_{uu}^2 погрешности вычисляется по формуле

$$\sigma_{uu}^2 = (1 - P_c) \sigma_u^2 + P_c \sigma_c^2, \quad (4)$$

где σ_u^2 , σ_c^2 – показатели погрешностей, вносимых ошибками канала передачи соответственно в информационную и служебную части; P_c – вероятность случайного события, заключающегося в том, что будет искажена служебная часть кодового слова.

Если ошибка канала связи произошла в кодовом номере биномиально-полиадического числа, то качество восстановленных изображений будет зависеть от степени влияния искаженных кодов-номеров $N(w, \Lambda)$ на значения элементов видеоданных. Рассмотрим случайное событие, заключающееся в том, что в результате декодирования искаженного кода $N(w, \Lambda)^{\bullet}$ будет получен элемент со значением a_{ij}^{\bullet} при условии, что передавалась величина a_{ij} . Тогда дисперсия σ_u^2 , вызванная погрешностью из-за ошибок в канале связи при декодировании кода $N(w, \Lambda)^{\bullet}$, равна [2–4]:

$$\sigma_u^2 = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{e_{ij}}^2 \right) P_i, \quad (5)$$

где P_i – вероятность случайного события, состоящего в том, что в коде $N(w, \Lambda)^\bullet$ произойдет ошибка; $\sigma_{e_{ij}}^2$ – значение показателя погрешности, возникающей при восстановлении отдельного ij -го элемента массива видеоданных вследствие декодирования искаженного кода $N(w, \Lambda)^\bullet$.

Вероятность P_i зависит от вероятности ошибки в канале связи и от длины кода-номера (заданной длины машинного слова M) [2 – 4]:

$$P_i = 1 - (1 - p_0)^M. \quad (6)$$

Найдем показатель $\sigma_{e_{ij}}^2$ погрешности, вызванной ошибками в ij -м элементе. Для этого рассмотрим помехоустойчивые свойства биномиально-полиадических кодовых конструкций к ошибкам в канале связи, которые вытекают из особенностей их формирования [5, 6]. При этом помехоустойчивые свойства проявляются в независимости от абсолютной величины погрешности ε , вызванной ошибками в канале связи

$$\varepsilon = |N(w, \Lambda) - N(w, \Lambda)^\bullet|. \quad (7)$$

Свойство 1 заключается в локализации количества элементов, которые могут быть восстановлены с ошибкой.

Данное свойство объясняется тем, что код-номер образуется для отдельной группы элементов, и ошибка может распространиться только на эти элементы. При этом декодирование кодов-номеров осуществляется независимо друг от друга, в то время как ошибка в кодах длин серий одинаковых элементов и в кодах компонент ортогональных преобразований распространяется на весь локальный фрагмент.

Свойство 2 состоит в распределенности влияния ошибки кода-номера.

Это свойство проявляется в том, что возможные искаженные элементы видеоданных будут находиться в разных частях восстанавливаемого изображения. В связи с этим визуальный эффект от ошибок будет менее заметен. Такое свойство обусловлено плавающим режимом кодирования.

Свойство 3. Данное свойство состоит в **локализации** значения ошибки e_{ij} . Величина e_{ij} будет принимать значения не на всем диапазоне числа $0 \leq e_{ij} \leq 2^8$, определяемого количеством разрядов на его представление (8 разрядов на элемент), а будет ограничена величиной

$$\begin{aligned} |e_{ij}| &= |a_{ij} - \varphi^{(-1)}(N(w, \Lambda)^\bullet)_{ij}| \leq \\ &\leq \min(w - \sum_{\substack{\gamma=1 \\ \gamma \neq i}}^m \sum_{\substack{\xi=1 \\ \xi \neq j}}^n a_{\gamma\xi}, \lambda_{ij} - 1), \end{aligned} \quad (8)$$

где $a_{ij}^\bullet = \varphi^{(-1)}(N(w, \Lambda)^\bullet)_{ij}$; $\varphi^{(-1)}(\bullet)$ – оператор восстановления значения a_{ij}^\bullet по коду-номеру $N(w, \Lambda)^\bullet$; w – сумма всех элементов массива

видеоданных; $\sum_{\substack{\gamma=1 \\ \gamma \neq i}}^m \sum_{\substack{\xi=1 \\ \xi \neq j}}^n a_{\gamma\xi}$ – сумма элементов, не

включающая значение элемента a_{ij}^\bullet ; λ_{ij} – минимальное значение из максимумов по строке и по столбцу массива видеоданных.

Из анализа соотношения (8) видно, что выполняется неравенство

$$\min(w - \sum_{\substack{\gamma=1 \\ \gamma \neq i}}^m \sum_{\substack{\xi=1 \\ \xi \neq j}}^n a_{\gamma\xi}, \lambda_{ij} - 1) \lll 2^8 = 256. \quad (9)$$

Свойство 4. Свойство **самокоррекции**. Данное свойство кодов-номеров биномиально-полиадических чисел заключается в том, что при декодировании искаженного кода-номера $N(w, \Lambda)^\bullet$ некоторые элементы (их количество может изменяться от 1 до $m \times n - 1$) восстанавливаются без погрешности

$$e_{ij} = a_{ij} - a_{ij}^{\bullet} = 0; i = \overline{1, \mu}; j = \overline{1, \nu} \\ \mu \times \nu \leq m \times n - 1. \quad (10)$$

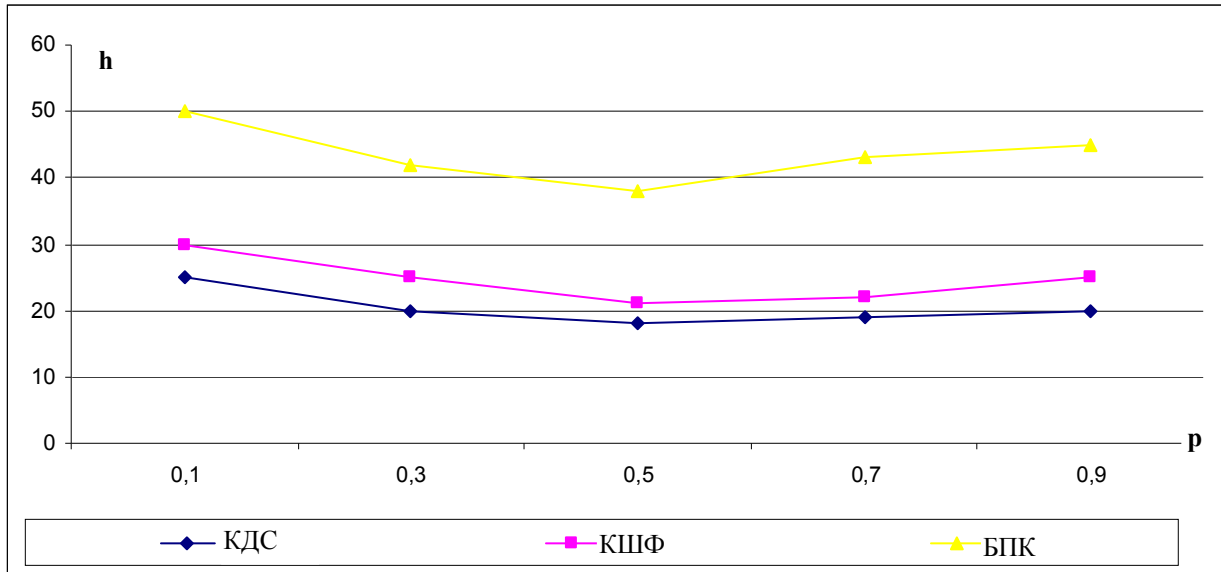
С учетом выражений (8) – (10) значение $\sigma_{e_{ij}}^2$ равно

$$\sigma_{e_{ij}}^2 = ((\min \{w - \sum_{\substack{\gamma=1 \\ \gamma \neq i}}^m \sum_{\substack{\xi=1 \\ \xi \neq j}}^n a_{\gamma\xi}, \lambda_{ij} - 1\} - 1)^2 / 3). \quad (11)$$

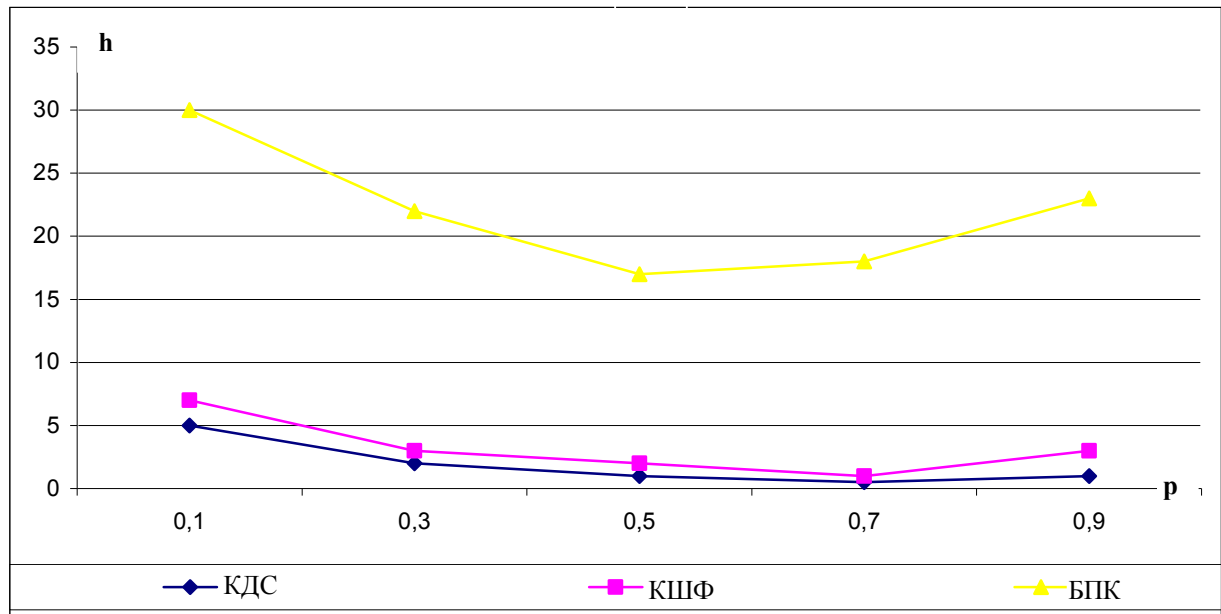
Подставив формулу (11) в выражение (5), найдем погрешность σ_u^2 :

$$\sigma_u^2 = (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\min \{w - \sum_{\substack{\gamma=1 \\ \gamma \neq i}}^m \sum_{\substack{\xi=1 \\ \xi \neq j}}^n a_{\gamma\xi}, \lambda_{ij} - 1\} - 1)^2 / 3) \times \\ \times (1 - (1 - p_0)^M). \quad (12)$$

Графики значений ОСШ h для кодовых комбинаций, полученных на основе различных методов сжатых видеоданных, в зависимости от степени насыщенности ρ_{om} и вероятности ошибки одного разряда p_0 представлены на рис. 1. Расчеты проводились по выражению (1) с учетом соотношения (12). Сравнение проводилось с методами модифицированного кодирования длинами серий одинаковых элементов (КДС) и с неравномерным статистическим кодированием (КШФ) [2 – 6].



а



б

Рис. 1. График значений отношения сигнал/шум для разных методов кодирования данных в зависимости от вероятности ошибки p_0 : а – $p_0 = 10^{-4}$; б – $p_0 = 10^{-2}$

Из анализа графиков на рис. 1 следует, что:

1. Помехоустойчивость биномиально-полиадических кодовых конструкций выше помехоустойчивости известных кодов в среднем на 15 дБ в зависимости от степени насыщенности изображений. Повышение помехоустойчивости биномиально-полиадических кодовых конструкций до 50 дБ для сильнонасыщенных изображений

достигается в основном за счет уменьшения количества элементов, для которых формируется код-номер. Для слабонасыщенных изображений повышение помехоустойчивости обеспечивается на основе не только локализирующих свойств биномиально-полиадических кодовых конструкций, но и за счет самокоррекции ошибок.

2. За счет локализации и самокоррекции ошибок коды-номера биномиально-полиадических чисел можно передавать без добавления корректирующих разрядов для вероятности ошибки в канале связи $p_0 \geq 10^{-4}$. Это объясняется тем, что для вероятности ошибок $p_0 = 10^{-4}$ и для вероятности цветового перепада $0,1 \leq p \leq 0,9$ обеспечивается значение отношения сигнал/шум h , равное приблизительно 40 дБ, что позволяет восстанавливать изображения с хорошим качеством.

Таким образом, использование биномиально-полиадических кодовых конструкций для компактного представления массивов видеоданных обеспечивает большую помехоустойчивость, чем методы статистического кодирования и методы кодирования на основе выявления длин серий.

Заключение

Таким образом, на основе изложенного можно сделать вывод, состоящий в том, что биномиально-полиадические кодовые конструкции обладают свойствами помехоустойчивости к ошибкам в канале связи. Данные свойства заключаются в локализации влияния ошибки на локальном фрагменте, в ограничении величины отклонения восстановленных элементов от исходных и самокоррекции ошибок. Это позволяет обеспечить значение отношения сигнал/шум для разработанного метода на 15 дБ больше по сравнению с другими методами сжатия.

Литература

1. Акушский И.Я., Юдицкий Ф.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Сов. радио, 1968. – 440 с.
2. Орищенко В.И., Сонников В.Г., Свириденко В.А. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.
3. Свириденко В.А. Анализ систем со сжатием данных – М.: Связь, 1977. – 184 с.
4. Баранник В.В., Королёва Н.А. Определение отношения сигнал/шум при декодировании полиадических кодов длин серий // ИУСЖТ. – 2001. – № 3. – С. 31 – 38.
5. Баранник В.В. Усеченное двусвязное биномиально-полиадическое декодирование // АСУ и приборы автоматики. – 2004. – № 127. – С. 28 – 34.
6. Баранник В.В. Метод сжатия изображений на основе трехмерного биномиально-полиадического кодирования // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 2. – С. 33. – 39.

Поступила в редакцию 20.07.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. П.Ф. Поляков, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.