

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕДАЧИ СООБЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВАРИАНТА АНАЛОГОВОГО КОДИРОВАНИЯ

Бронников В.Н., Штепа А.А.

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ

Поддубняк В.И.

Донецкий институт железнодорожного транспорта

Abstract

Bronnikov V. N., Poddubnyak V. I., Shtepa A. A. Rating of noise stability of messaging with the help of variant of analogue coding. The method of message passing with the help of analogue coding surveyed. In his bottom – usage of the operation, widely known in programming, of addition module of positive number of real numbers instead of the operation of addition module two numbers 0 and 1 at definition of test and code values (characters) in algorithms of coding and decoding, and also usage of test relations as separate doubling transmission channels of sampling (coefficients of decomposition of the message) with subsequent integration of obtained in such a way estimations of sampling in weighted under the least squares method to the total. Is shown, that usage of this method allows effectively to boost noise stability in comparison with known methods.

Настоящая работа направлена на совершенствование алгоритмов передачи сообщений в непрерывных стационарных гауссовских каналах связи. Целью ее является увеличение информационной (η), частотной (γ) эффективностей и помехоустойчивости систем связи при ограничениях на сложность аппаратной реализации и время обработки принимаемого сигнала. Непосредственно будет рассматриваться передача непрерывных сообщений. Но, как будет видно из изложенного, результаты работы могут быть использованы и при построении алгоритмов передачи дискретных сообщений.

Возможность увеличения помехоустойчивости за счет расширения спектра сигнала по отношению к спектру сообщения известна и широко используется [1,2]. Помехоустойчивость известных методов передачи непрерывных сообщений значительно ниже возможных значений, как в пороговой, так и надпороговой областях [2] (входных отношений сигнал/шум). С целью устранения этого недостатка и увеличения информационной эффективности в [3–5] предложены варианты аналогового кодирования (и декодирования) непрерывных сообщений. Они обладают рядом положительных характеристик, но в целом не решают упомянутой задачи и, кроме того, сложны в реализации (алгоритм получения оценки сообщения содержал решение системы трансцендентных уравнений). Поэтому в [6] предложен очередной вариант аналогового кодирования. Последний рассматривается ниже и исследуется его помехоустойчивость.

Суть аналогового кодирования [6] заключается в следующем. Из каждого очередного отрезка длительностью kT передаваемого сообщения (Xt), получают и запоминают k выборок X_i , $b \geq X_i \geq -b$, $i = \overline{1, k}$, $T \leq 1/2f_b$, f_b – верхняя граничная частота сообщения. Выборки передают с помощью аналогового импульсного вида модуляции совместно с проверочными величинами X_{k+h} , $h = \overline{1, r}$, получаемыми в соответствии с проверочными соотношениями

$$X_{k+h} = [(\sum_{i=1}^k X_i \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b] - b, \quad h = \overline{1, r}, \quad (1)$$

где постоянная величина $b > |X_i|$, $i = \overline{1, k}$, $g_{ik+h} = \overline{0, 1}$ – элементы матрицы проверочных символов блочного систематического кода (n, k, d) , $(\sum_{i=1}^k X_i \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b$ – остаток от деления содержимого в скобках на $2 \cdot b$, постоянная величина $2 \cdot b \cdot q \geq \max \left| \sum_{i=1}^k X_i \cdot g_{ik+h} \right|$, $q = 1, 2, 3, \dots$ – целое число.

В приемном устройстве производят следующие операции:

1) устанавливают коэффициент передачи канала, включающего его детектор, равный единице;

2) с помощью детектирования получают максимально правдоподобные первичные оценки $\hat{X}_i^{(1)}$, $\hat{X}_{k+h}^{(1)}$ выборок X_i , $i = \overline{1, k}$, и проверочных величин X_{k+h} , $h = \overline{1, r}$;

3) для каждой выборки X_i , $i = \overline{1, k}$, и проверочной величины X_{k+h} , $h = \overline{1, r}$, вычисляют вторичные оценки

$$\hat{X}_i^{(jh)} = (\hat{X}_{k+h}^{(j-1)} + b - \sum_{i=1}^k \hat{X}_i^{(j-1)} \cdot g_{ik+h} + \hat{X}_i^{(j-1h)} \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b - b, \quad j = \overline{2, m}, \quad (2)$$

$$\hat{X}_{k+h}^{(jh)} = (-\sum_{i=1}^k \hat{X}_i^{(j-1)} \cdot g_{ik+h} + 2 \cdot b \cdot q) \bmod 2 \cdot b + b, \quad j = \overline{2, m}, \quad (3)$$

получаемые от использования отдельно взятого h -го проверочного соотношения (соотношения (2) и (3) следуют из (1));

4) вычисляют вторичные оценки как взвешенные суммы упомянутых оценок

$$\hat{X}_{i\Sigma}^{(j)} = \sum_{h=1}^r a_h \hat{X}_i^{(jh)} + a \cdot \hat{X}_i^{(j-1)}, \quad j = \overline{2, m}, \quad (4)$$

где a_h , $h = \overline{1, r}$, a – весовые коэффициенты, выбираемые в соответствии с методом наименьших квадратов [6,7,8];

5) итеративно повторяют процесс вычисления вторичных оценок, используя в качестве входных величин последующей вычислительной ступени итеративной процедуры выходные величины предыдущей вычислительной ступени итеративной процедуры;

6) выходные величины $\hat{X}_{i\Sigma}^{(m)}$ последней вычислительной ступени итеративной процедуры используют для оценки каждого очередного отрезка длительностью kT переданного сообщения в виде ряда Котельникова

$$(t) = \sum_{i=1}^k \hat{X}_{i\Sigma}^{(m)} \cdot \frac{\sin \pi f_B (t - iT)}{\pi f_B (t - iT)}. \quad (5)$$

Принятое сообщение получают как непосредственно следующие друг за другом оценки отрезков сообщения.

В основе рассматриваемого варианта передачи сообщений с помощью аналогового кодирования – использование широко известной в программировании операции сложения по

модулю положительного числа $2 \cdot b$ действительных чисел (смотрите (1)) вместо операции сложения по модулю два чисел 0 и 1 при определении проверочных и кодовых величин (символов) в алгоритмах кодирования и декодирования, а также использование проверочных соотношений как отдельных дублирующих каналов [8] передачи выборок (коэффициентов разложения сообщения) с последующим объединением получаемых таким способом оценок выборок во взвешенной по методу наименьших квадратов сумме.

В результате каждая отдельно взятая выборка сообщения передается совместно с другими (за счет использования проверочных соотношений). Это увеличивает энергию для ее передачи без дополнительных энергетических затрат и уменьшения скорости передачи информации. Кроме того, при этом отсутствует квантование выборок с сопутствующим ему расширением спектра сигнала и уменьшением энергии, приходящейся на передачу разряда кодовой комбинации, соответствующей квантованному значению. Это обеспечивает возможность иметь более низкое пороговое отношение сигнал/шум (большую помехоустойчивость) и меньшую ширину спектра сигнала, следовательно, более высокое использование пропускной способности канала связи.

При использовании, например, матрицы проверочных символов мажоритарного циклического кода (21, 11, 6), декодирование которого реализуется относительно просто [9], расширение спектра, вызванное введением проверочных соотношений, составит $21/11 \approx 1,9$, энергетический выигрыш – приблизительно 2,3 раза при передачи двоичных сигналов. Эти показатели конкурентоспособны с таковыми, получаемыми при использовании амплитудной, фазовой, частотной и других модуляций. Лучшие показатели могут быть достигнуты при использовании матриц проверочных символов других кодов.

Произведем грубую оценку помехоустойчивости для случая использования балансной модуляции. Будем считать, что выборки статистически независимы, оценки выборок и проверочных величин на выходе детектора содержат аддитивные статистически независимые гауссовские ошибки с нулевым средним и дисперсией σ^2 . Получаемый от использования кодирования энергетический выигрыш

$$B = h_0^2 / h_k^2,$$

где h_k^2, h_0^2 – отношения энергий, соответствующих максимальным значениям b первичных оценок выборок и проверочных величин, к спектральной плотности мощности шума N_0 , необходимые для обеспечения заданной дисперсии σ_m^2 ошибок передачи выборок. Для определения энергетического выигрыша будем считать, что выборками являются квантованные величины с шагом квантования $2b/(l-1)$, где количество квантованных значений $l \gg 1$. Упомянутое равенство дисперсий представим в виде:

$$\sigma_m^2 = \sum_{\Delta i=1}^{\ell} N_0 \cdot \Delta h_k^2 \cdot \Delta i^2 \cdot P_k(\Delta h_k^2 \cdot \Delta i^2) = \sum_{\Delta i=1}^{\ell} N_0 \cdot \Delta h_0^2 \cdot \Delta i^2 \cdot P_0(\Delta h_0^2 \cdot \Delta i^2), \quad (6)$$

где вероятность ошибки приема квантованных значений при использовании рассмотренного аналогового кодирования [9]

$$P_k(\Delta h_k^2 \cdot \Delta i^2) \approx (d M_m / 10 n) \exp[-(dk/n) \cdot \Delta h_k^2 \cdot \Delta i^2 / 2], \quad (7)$$

$$\Delta h_k^2 = h_k^2 / [0.5(\ell - 1)]^2, \quad (8)$$

M_m – количество ближайших кодовых слов, Δi – разность между номерами переданного и принятого квантованных значений, вероятность ошибки приема квантованных значений при отсутствии рассмотренного аналогового кодирования [9]

$$P_o(\Delta h_o^2 \cdot \Delta i^2) \approx (1/5) \exp[-\Delta h_o^2 \cdot \Delta i^2 / 2] , \quad (9)$$

$$\Delta h_o^2 = h_o^2 / [0.5(\ell - 1)]^2 \quad (10)$$

Из (6)...(10) следует:

$$B \approx \frac{dk}{n[1 + 2 \ln(d M_m / 2 nB) / (\Delta h_o^2 \Delta i^2)]} . \quad (11)$$

Из (10) и (11) получаем: при достаточно больших отношениях сигнал/шум h_o^2 (т.е. в надпороговой области, когда $1 \gg 2 [\ln(d M_m / 2 nB)] / (\Delta h_o^2 \Delta i^2)$) энергетический выигрыш

$$B \approx dk/n. \quad (12)$$

Полученная зависимость (12) энергетического выигрыша от увеличения расстояния в $(dk/n)^{0.5}$ раз между точками пространства вторичного (кодированного) сигнала по сравнению с расстоянием между соответствующими точками [9] первичного (некодированного) сигнала согласуется с геометрической интерпретацией получения энергетического выигрыша от использования некоторых видов модуляции (частотной, фазовой, время-импульсной и др.) при увеличении ширины спектра сигнала Δf по отношению к ширине спектра сообщений ΔF в α раз. Однако здесь имеется существенное отличие от преобразования первичного сигнала во вторичный только путем модуляции: здесь имеет место функциональное преобразование, когда отрезку сообщения соответствует отрезок сигнала [10]. А это в соответствии с изложенным дает основание полагать о возможности снижения порогового отношения сигнал/шум.

Из (12) для циклических кодов (127, 98, 8) и (127, 63, 16) [11] следует: $B \approx 6,2$ и 8 при $\alpha = n/k \approx 1,3$ и $2,0$, соответственно. При использовании двухступенчатого итеративного кода, построенного на основе кода (127, 63, 16), $B \approx 64$ и $\alpha \approx 4$. Это существенно лучше имеющихся результатов [2...5] при $\alpha \leq 4$.

Из изложенного следует, что при использовании в качестве первичного M -уровневого сигнала рассмотренное аналоговое кодирование может использоваться для передачи дискретных сообщений. При этом величина энергетического выигрыша B для различных значений h_o^2 может быть получена из уравнения относительно B , получаемого путем подстановки равенства $B = h_o^2 / h_k^2$ в (6). Вычисленная таким способом зависимость выигрыша $B = B_H$ от $H = h_o^2$ представлена на рис.1 для случая $l=4$ и использования трехступенчатого итеративного кода $(15^3, 11^3, 3^3)$ [9], у которого $\alpha = n/k \approx 2,5$.

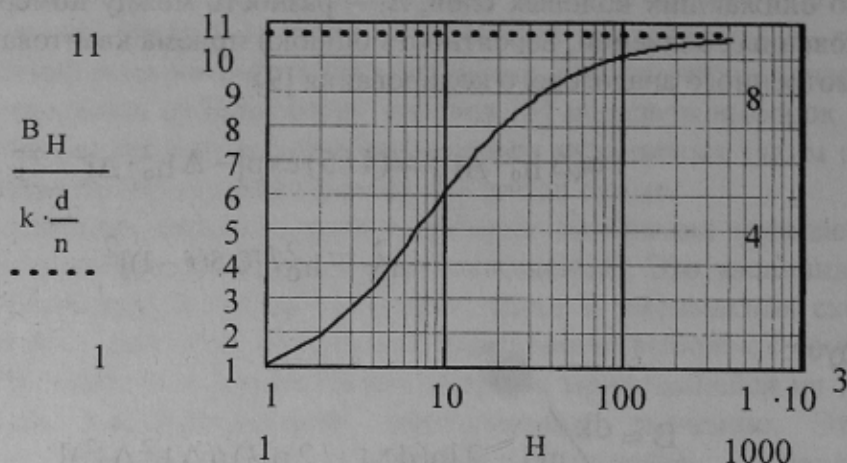


Рисунок 1 – Зависимость выигрыша $V=V_H$ от $N=h_0^2$ для случая $l=4$ и использования трехступенчатого итеративного кода $(15^3, 11^3, 3^3)$, у которого $\alpha=n/k \approx 2,5$

Выводы

Рассмотренный метод аналогового кодирования позволяет более эффективно повышать помехоустойчивость передачи непрерывных сообщений и может быть использован для передачи М-ичных дискретных (в частности двоичных) сигналов.

Литература

1. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / Зюко А. Г., Фалько А.И., Панфилов И.П., Банкет В.Л., Иващенко П.В. / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 271 с.
2. Фомин А.Ф. Помехоустойчивость систем передачи непрерывных сообщений. М., Сов. радио, 1975.– 352 с.
3. Бронников В.Н. Анализ помехоустойчивости передачи непрерывных сообщений с помощью аналогового кодирования // Радиотехника. – 1980. – № 6. – С. 64 – 67.
4. Бронников В.Н. Оценка помехоустойчивости передачи непрерывных сообщений с помощью цифроаналоговых алгоритмов // Радиотехника. – 1982. – №11. – С. 27 – 33 с.
5. Бронников В.Н. Оценка помехоустойчивости передачи непрерывных сообщений с помощью квантования и одного класса аналогового кодирования // Радиотехника. – 1984. – №6. – С. 71.
6. Бронников В. Н., Поддубняк В. И. Способ передачи сообщений. Приоритетная справка № 2000116392 от 13.11.2000 г. НДЦПЕ Держпатента України.
7. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. –М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
8. Бронников В.Н. Метод получения мягких решений относительно символов кодов // Труды 4-й МНТК UkrTeleCom-99 – Одесса, 1999, Радиотехника. – 2000. – №12.– С. 22–25.
9. Тепляков И.М., Рощин Б.В., Фомин А.И., Вейцель В.А. Радиосистемы передачи информации. – М.: Радио и связь, 1982. – 264 с.
10. Агеев Д.В., Забегалов Б.Д. // Радиозлектроника (Изв. высш. учеб. заведений). – 1966. – №3.
11. Колесник В.Д., Мирончиков Е.Т. Декодирование циклических кодов. – М.: Связь, 1968. – 251с.