

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ВЗВЕШЕННЫХ КОНТРОЛЬНЫХ СУММ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК В КАНАЛАХ СО СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

**Чебаненко Т.М., Шапран К.О.**

*Факультет информатики и вычислительной техники*

*КПИ им. Игоря Сикорского, Украина*

*E-mail: karinka.shapran@gmail.com*

### **Use of arithmetic weighed checksums for error correction in channels with spectral modulation**

In this paper a new approach is proposed to increase the efficiency of error correction in spectrum modulation channel by using of arithmetic weighed check sums. Based on a study of the properties of data transmission errors caused by external noises new error correction procedure is developed, which is oriented for correction of one symbol. It is proven that the proposed error correction technique gives better performance and demands lower amount of control bits than error correcting codes.

В современных условиях важное место в развитии технологий передачи цифровых данных играет обеспечение надежности передачи данных. Объективно существует целый ряд факторов, которые снижают надежность передачи данных. В частности, расширение использования беспроводных линий и систем мобильной связи имеет следствием заметный рост интенсивности внешних помех [1]. Ускорение скорости передачи вызывает рост числа ошибок, вызванных межсигнальной интерференцией. Применение спектральной модуляции, приводит к резкому росту кратности возникающих ошибок.

Действие перечисленных факторов требует адекватного совершенствования средств обнаружения и коррекции ошибок, возникающих при передаче цифровых данных в компьютерных сетях и системах телекоммуникаций. Таким образом, задача совершенствования средств контроля и коррекции ошибок передачи данных в КСМ является актуальной и значимой для практики.

Обычно, для коррекции ошибок передачи данных используются корректирующие коды [1], наиболее известными из которых являются коды Рида-Соломона, BCH, турбо-коды. При использовании корректирующих кодов для КСМ при имеющейся тенденции к увеличению числа  $k$  бит модулируемых одним канальным сигналом, резко возрастает число контрольных разрядов и время контроля. Другими словами, эффективность использования корректирующих кодов для КСМ с увеличением  $k$  снижается.

Для решения задачи эффективной коррекции ошибок передачи данных возникающих при искажении под воздействием внешней помехи одного канального сигнала предлагается использовать арифметическую взвешенную контрольную сумму (АВКС). Сущность предлагаемого подхода состоит в следующем.

Символам  $X_1, X_2, \dots, X_q$  информационного блока ставятся в соответствие весовые коэффициенты  $W_1, W_2, \dots, W_q$  разрядностью по  $\log_2 q$  бит. При этом значение  $j$ -го весового коэффициента  $W_j$  определяется его порядковым номером, то есть  $W_j = j$ .

Контрольный код блока вычисляется в виде двух компонент. Первая компонента  $C_1$  представляет собой арифметическую сумму кодов символов блока:  $C_1 = \sum_{j=1}^q Z_j$ .

Вторая компонента  $C_2$  представляет собой арифметическую сумму произведений кодов символов на их весовой коэффициент:  $C_2 = \sum_{j=1}^q Z_j \cdot W_j$ .

Двухкомпонентный контрольный код  $C_S = \{C_{S1}, C_{S2}\}$  вычисляется передатчиком и отсылается приемнику. Последний по полученному блоку вычисляет код  $C_R = \{C_{R1}, C_{R2}\}$  и формирует двухкомпонентный код разности  $\Delta = \{\Delta_1, \Delta_2\}$ , компоненты которого вычисляются как арифметическая разность одноименных компонент контрольных кодов передатчика и приемника:  $\Delta_1 = C_{R1} - C_{S1}$ ,  $\Delta_2 = C_{R2} - C_{S2}$ .

Если обе компоненты разности контрольных сумм равны нулю:  $\Delta_1 = 0$  и  $\Delta_2 = 0$  то блок считается переданным без ошибок.

При ошибочной передаче одного канального сигнала, например  $j$ -го,  $j \in \{1, \dots, q\}$ , искажению подвергаются биты одного канального символа  $X_j$ . Соответственно, коды  $j$ -го символа на передатчике –  $Z_{Sj}$  и приемнике –  $Z_{Rj}$  будут отличными. Пусть  $\alpha$  – разность этих кодов:  $\alpha = Z_{Rj} - Z_{Sj}$ , очевидно, что  $-(2^k - 1) \leq \alpha \leq (2^k - 1)$ .

Тогда компоненты разности арифметических взвешенных контрольных сумм равны:  $\Delta_1 = \alpha$ ,  $\Delta_2 = \alpha \cdot W_j$ . Коррекция ошибок выполняется следующим порядком:

1. Осуществляется операция целочисленного деления  $\Delta_2$  на  $\Delta_1$ . Если остаток от деления не равен нулю, то произошло искажение более, чем одного символа блока. В этом случае, коррекция не производится, а формируется сигнал на повторную передачу блока.

2. Если остаток деления  $\Delta_2$  на  $\Delta_1$  равен нулю, то частное равно значению весового коэффициента искаженного символа –  $W_j$ . Коррекция производится последовательным нахождением номера  $j$  искаженного символа по значению  $W_j$  и определением истинного значения кода  $Z_{Sj}$   $j$ -го символа:

$$W_j = \frac{\Delta_2}{\Delta_1}, j = W_j \quad (1)$$

$$Z_{Sj} = Z_{Rj} - \Delta_1$$

Важным аспектом является оценка вероятности  $Q_2$  ложной классификации исправляемых ошибок. При искажении, в процессе передачи, двух канальных

сигналов, возникают ошибки в двух символах блока. Пусть в процессе передачи искажению подверглись два символа:  $X_j$  и  $X_e$ ,  $j, e \in \{0, \dots, q-1\}$ ,  $j < e$ , причем  $Z_{R_j} - Z_{S_j} = \alpha$ ,  $Z_{R_e} - Z_{S_e} = \gamma$ . Тогда  $\Delta_1 = \alpha + \gamma$ ,  $\Delta_2 = \alpha \cdot W_j + \gamma \cdot W_e$ . Неверная классификация неисправимой ошибки в двух символах как исправимой в одном символе имеет место, если остаток от деления  $\Delta_2 / \Delta_1$  равен нулю, то есть существует целое  $N$  такое, что:  $\alpha \cdot W_j + \gamma \cdot W_e = N \cdot (\alpha + \gamma)$ .

Проведенные экспериментальные исследования показали, что вероятность  $Q_2$  в определяющей степени зависит от длины  $k$  символа. Для современных систем передачи данных, которые характеризуются относительно большими значениями  $k$ , вероятность неадекватной классификации типа ошибки невелика.

Число  $R$  контрольных разрядов определяется максимальной разрядностью первой  $C_1$  и второй  $C_2$  компонент арифметической взвешенной контрольной суммы. Поскольку максимальное значение  $C_1$  равно  $q \cdot (2^k - 1)$ , то разрядность этой компоненты не превышает  $k + \log_2 q$ . Максимальное значение компоненты  $C_2$  равно  $\sum_{i=1}^q (2^k - 1) \cdot i = \frac{q^2 \cdot (2^k - 1)}{2}$ . Соответственно, число бит для представления  $C_2$  равно  $k + 2 \cdot \log_2 q - 1$ . Таким образом:  $R = 2 \cdot k + 3 \cdot \log_2 q + 1$ .

При использовании корректирующих кодов нижняя граница  $G$  числа контрольных разрядов определяется объемом информации, необходимым для локализации  $k$  искаженных бит в  $m$ -битовом блоке.

Соответственно численное значение  $G$  определяется формулой:

$$G = \log_2 \prod_{l=0}^{k-1} \frac{m-l}{l+1} \quad (2)$$

Таким образом, использование арифметической взвешенной контрольной суммы позволяет уменьшить число контрольных разрядов в 1.45 раза.

В результате проведенных исследований предложен вариант использования АВКС для коррекции ошибок в КСМ.

Доказано, что применение АВКС позволяет уменьшить число контрольных разрядов как по сравнению с корректирующими кодами, так и по сравнению с логической взвешенной контрольной суммой. Вычисление АВКС достаточно просты и осуществляются в темпе передачи данных в канале, а операции, связанные с коррекцией выполняются только при обнаружении ошибки.

## Литература

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Издательский дом "Вильямс", 2004. – 1104 с.