

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ С МНОГОПОЗИЦИОННЫМИ ВИДАМИ МОДУЛЯЦИИ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Серченя А.А.

Липкович Э.Б. – доцент

Применение помехоустойчивого кодирования с исправлением ошибок в современных системах связи является обязательным. Кодирование информации позволяет, с одной стороны, уменьшить количество ошибок в канале, возникающих из-за влияния частотно-селективных замираний, промышленных помех и прочих факторов, и тем самым уменьшить общее время неготовности линии связи, и с другой стороны, снизить значение пороговой чувствительности приемника, за счет чего увеличить энергетику линии связи.

В современных системах используют многопозиционные методы модуляции, т.к. они позволяют повысить пропускную способность системы в пределах выделенной полосы частот. Они являются полосноберегающими. Суть выигрыша по скорости передаваемых данных или по используемой полосе частот состоит в том, что радиосимволы, образованные на выходе модулятора с длительностью  $T_c = 1/B_c$ , переносят несколько бит исходной информации, где  $B_c$  – символьная скорость. Различительными признаками состава передаваемых бит в символе являются определенные значения амплитуд, частот и фаз или их комбинаций.

Выбранный метод модуляции не только позволяет повысить пропускную способность, но и влияет на такие характеристики помехоустойчивости системы, как вероятность ошибки и значение отношения несущая/шум (ОНШ).

Для сравнения помехоустойчивого кодирования при использовании разных видов многопозиционной модуляции положим, что имеется цифровая система и используется сверточное кодирование, когерентная демодуляция сигналов КАМ-М, ФМ-М, АМ-М и декодирование по алгоритму Витерби с мягким решением.

Исходным соотношением, увязывающим вероятность ошибки на бит информации с параметрами модуляции и кодирования, является

$$P_{\text{ОНШВ}} = C_i \cdot R_K \cdot d_c \cdot \beta \cdot \sqrt{K \cdot q_i} \cdot \text{erfc}(x); \quad (1)$$

$$x = \sqrt{R_K \cdot d_c \cdot \beta \cdot q_i} \cdot h_{\text{ОК}},$$

где  $C_i$ ,  $q_i$  – коэффициенты, зависящие от вида модуляции;  $d_c$  – свободное расстояние для сверточного кода.

Чуть подробнее стоит остановиться на коэффициенте  $q_i$ .  $q_i$  – это квадрат коэффициента помехоустойчивости. Он используется для более полной оценки эффективности многопозиционных видов модуляции и вычисляется по формуле:

$$q_i = d_{0i}^2 / 4E_0 \quad (2)$$

$d_{0i}$  – евклидово расстояние (расстояние между точками сигнального созвездия), которое тем меньше, чем больше кратность модуляции. При его уменьшении уменьшается достоверность приема при наличии шумов и помех в радиотракте. Компенсировать это можно увеличением амплитуд передаваемых сигналов. Для разных видов модуляции евклидово расстояние вычисляется при помощи разных формул.

$E_0$  – это энергия, требуемая для передачи одного бита информации.

Чем больше значение  $q_i$ , тем выше эффективность выбранного вида модуляции и ниже требуемое пороговое отношение  $h_0 = E_0 / N_0$  для обеспечения необходимой достоверности приема.

Выразим из формулы (1) значение порогового отношения сигнал/шум (ОСШ)  $h_{0к}$ :

$$h_{0к} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{2.3 \cdot (D_i - 0.5D_i \cdot 2.3)}{q_i \cdot \beta \cdot d_c \cdot R_K} \right], \text{ дБ} \quad (3)$$

Если принять  $R_K, d_c, \beta, K$  равными единице, то расчетное соотношение (3) переходит к формуле без кодирования.

Требуемое ОНШ при наличии сверточного кодирования для обеспечения заданной достоверности приема определяется по формуле

$$\rho_{0к} = h_{0к} + 10 \lg \gamma_0 + \Delta \rho_{\Sigma}, \text{ дБ.} \quad (4)$$

Эффективность кодирования в цифровых системах определяется величиной выигрыша от кодирования при сохранении выбранного типа модуляций и величины ошибок:

$$\Delta G_k = h_0 - h_{0к} = \rho_0 - \rho_{0к} - 10 \lg R_k = 10 \lg R_k \cdot d_c \cdot \beta \cdot \xi \quad (5)$$

$$\xi = \frac{A_i - 0.51 \lg A_i \cdot 2.3}{D_i - 0.51 \lg D_i \cdot 2.3}. \quad (6)$$

Величина  $\Delta G_k$  зависит от свойств корректирующего кода и алгоритма кодирования. Чем выше  $\Delta G_k$ , тем выше исправляющая способность выбранных кодов и их сочетаний.

В технике цифровой связи методы модуляции играют весьма значительную роль. Помимо своей основной функции – преобразования символ–сигнал – процесс модуляции является составной частью общего процесса согласования сигнала с характеристиками канала. Теоремы Шеннона для канала с шумами связывают пропускную способность канала передачи информации и существование кода, который возможно использовать для передачи информации по каналу с ошибкой, стремящейся к нулю (при увеличении длины блока). Практически важный вывод работ Шеннона состоит в том, что если скорость передачи информации меньше пропускной способности канала, то с использованием кодов, исправляющих ошибки, можно создать систему связи со сколь угодно малой вероятностью ошибки на выходе декодера канала. При этом адекватная система без корректирующего кодирования будет более сложной, дорогой и энергоёмкой. Отсюда вывод: система, не имеющая корректирующего кодирования и работающая без ошибок, - это крайне неэффективная система. Наоборот, эффективная система должна иметь возможность работы в режиме с достаточно высокой частотой ошибок в потоке на входе декодера, а сам декодированный поток должен иметь крайне малую вероятность ошибки на бит.

Таким образом, современные методы многопозиционной модуляции в полном соответствии с теоремой Шеннона могут рассматриваться и как способ кодирования данных сообщений в символы канала.

Список использованных источников:

1. Липкович, Э. Б. Цифровые системы радиосвязи и радиовещания : электронный ресурс по учебной дисциплине / Э. Б. Липкович [Электронный ресурс]. – Минск : БГУИР, 2016. – Режим доступа: <http://www.bsuir.by/>
2. Золотарёв, В.В., Овечкин, Г.В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы : Справочник / Ю.Б. Зубарев, – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 126 с.
3. Методы модуляции в цифровых ТВ системах [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.konturm.ru/newsprint.php?id=help/stat290805>