

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ПО КАНАЛАМ СВЯЗИ

Досов Д.П.

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

Утин Л.Л. - к.т.н., доцент

Аннотация. В докладе рассматривается помехоустойчивое кодирование для передачи цифрового телевидения по каналам связи.

При увеличении скорости передачи качество передачи оценивалось по BER – отношению количества ошибок по сравнению с количеством переданных бит. Появились понятия "готовность линии к передаче" и "качество передачи". Характеристики качества были приведены в рекомендациях G.811 и G.826 МСЭ-Т. При анализе характеристик качества период времени передачи исключается.

Линия считалась подготовленной к передаче, если BER превышает 10^{-3} для последовательных 10 секунд и более.

В XX веке появилось понятие "помехоустойчивое кодирование". Оно началось с появлением кодов Хэмминга, формулы и предела Шеннона.

Хотя, может быть, следует вспомнить Евклида, который 3500 лет назад ввел понятие помехоустойчивого кодирования. Определил необходимую скорость передачи символов и дистанцию между ними – "дистанция по Евклиду". Ею пользуются в США и сейчас, применяя TCM-модуляцию (теперь 8PSK – решетка с 8 состояниями), по правилу Унгербоэка с пространственной избыточностью. Эффективность кодирования получается 3,6 дБ.

После 50-х годов прошлого века специалисты стали считать, что сбой импульсной посылки происходит не из-за игольчатого выброса шума в $5-10 \cdot 10^6$ пкВт, а из-за белого гауссового шума AWGN (Additive White Gaussian Noise) в канале с релейскими замираниями.

Априорную вероятность ошибки определяли как:

$$P = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right),$$

где

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-z^2/2} dz, x \geq 0 \quad \frac{E_b}{N_0}$$

отношение сигнал/шум на бит (SNR). При M-модуляции формулы имеют более сложный вид. Вероятность ошибки на бит – это вероятность того, что в сообщении из L битов m будут ошибочными.

$$P_b(L, m) = \binom{L}{m} (1 - P_b)^{L-m} P_b^m,$$

где

$$\binom{L}{m} = \frac{L!}{(m-L)!m!},$$

учитывая, что ошибки при приеме кодовых символов происходят независимо с вероятностью p_o . При малой вероятности ошибки в канале с учетом скорости кода $R = k/n$ можно считать:

$$P_{ош} \approx \frac{2t+1}{n} C \binom{t+1}{n} P_o^{t+1}.$$

Канальное кодирование позволяет исправлять ошибки цифровой информации за счет включения в поток избыточных импульсов. При этом уменьшается энергия одного бита. Она становится равной $K/n \cdot E_b$.

В цифровых телевизионных передатчиках применяется помехоустойчивый код с исправлением ошибок на входе приемника FEC (Forward Error Correction). Он состоит из двух кодов: внешнего и внутреннего. Это обеспечивает получение ошибок в тракте передачи-приема $BER = 10^{-11}$ (и даже 10^{-13}). При блочном кодировании величина ошибки определяется расстоянием по Хеммингу – d . Ошибка, как $t = (d-1)/2$. Существуют "совершенные коды", позволяющие исправлять все ошибки кратности t . Число совершенных кодов невелико. Примером таких кодов служат коды Хэмминга, Голея, Боуза – Чоудхури – Хоквингема (БЧХ), Рида – Соломона.

Согласование возможности прохождения сигнала через радиотехнические цепи сделал Шеннон. Он предложил формулу, которая теперь носит его имя:

$$\frac{C}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N_0} \right).$$

Шеннон показал, что пропускная способность канала C с аддитивным шумом AWGN является отношением средней мощности принимаемого сигнала S к средней мощности шума и ширине полосы пропускания W .

При увеличении спектра сигнала (с К8 на К32 в стандарте Т2) пропускная способность увеличивается. Пропускная способность имеет размерность бит/с. Нижнее предельное значение E_b/N_0 , при котором ни при какой скорости нельзя осуществить безошибочную передачу информации, называют пределом Шеннона, равным $E_b/N_0 = 1,6$ дБ, где E_b – мощность сигнала на бит; N_0 – полоса шума на бит.

Телевизионный сигнал, выходящий со студии – аналоговый. Превращение его в цифровой осуществляется с помощью теоремы Котельникова. Она приводится в учебниках по телевидению. Поэтому не будем на ней останавливаться.

Первые помехоустойчивые коды предложил Хэмминг. Это были блочные коды, исправляющие одну ошибку. Они записывались так: $K(n,k,d)$, где n число входящих импульсов, k – информационных. Количество ошибок, которые может исправить код $t = (d-1)/2$.

Система помехоустойчивости состоит из:

- так называемого энтропийного перемешивания, или адаптации;
- внешнего кодирования кодом Рида–Соломона;
- внешнего перемешивания (интерливинг);
- внутреннего кодирования сверточным (конволюционным) кодом;
- внутреннего перемешивания (интерливинг).

Все это позволяет получить в стандарте DVB-T1 коэффициент ошибок $BER = 10^{-10}$. А в стандарте DVB-T2 – 10^{-12} .

Список использованных источников:

1. Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков, Системы цифровой радиосвязи, Москва, 2005г.