537.872.31

ВАЖНОСТЬ ПРИЁМА СИГНАЛА С МИНИМИЗАЦИЕЙ ПОМЕХ

Д.И. ШИШКОВ
(Представлено: канд. техн. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ)

Исследуется влияние помех на приём сигналов. Рассматривается минимизация помех – одна из основных задач при разработке электроники, в частности радиоприемных устройств. Анализируется отношение сигнал/шум на количество ошибок при декодировании сигналов.

Введение 1. Отношение сигнал/шум – безразмерная величина, равная отношению мощности полезного сигнала к мощности шума:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_{сигнала}}{P_{шума}}, \tag{1}$$

где $P_{сигнала}$ – средняя мощность сигнала; $P_{шума}$ – средняя мощность шума. Оба сигнала измеряются в полосе пропускания системы.

Обычно отношение сигнал/шум выражается в децибелах (дБ). Чем больше это отношение, тем меньше шум влияет на характеристики системы:

$$\frac{S}{N(dB)} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{сигнала}}{P_{шума}}\right). \tag{2}$$

Влияние помех 2. Шумы определяют емкость канала и задают частоту ошибок при передаче цифровых данных. Шум по своей природе нестабилен и можно говорить лишь о том, что его величина с некоторой вероятностью лежит в определенном интервале значений. Плотность вероятности $p(x)$ определяет вероятность того, что случайный сигнал x имеет значение амплитуды в интервале между x и $x + Dx$. При этом вероятность того, что значение x лежит в интервале между x_1 и $x2$ определяется равенством:

$$\frac{S}{N} = \frac{сигнала}{P_{шума}} P\{x_1 < x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} p(x)dx. \tag{3}$$

Условием нормировки при этом является равенство:

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x)dx = 1, \tag{4}$$

Здесь $P(x)$ – вероятность, $p(x)$ – плотность вероятности.

Вероятность того, что x меньше некоторой величины y равна:

$$\int_{-\infty}^{y} p(x)dx, \tag{5}$$

откуда следует, что $P\{x_{1,2}\} = P(x_2) - P\{x_1\}$, а $P(-\infty) = 1,\ \ P(-\infty) = 0.$

Так называемый белый шум подчиняется непрерывному нормальному (Гауссову) распределению:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \tag{6}$$

где a – среднее значение x, а σ – среднеквадратичное отклонение x от a. В случае шумов среднее значение x с учетом полярности часто принимает нулевое значение $(a = 0)$.

В этом случае, если мы хотим знать вероятность того, что амплитуда шумового сигнала лежит в пределах $\pm v$, можно воспользоваться выражением:

$$P\{\nu < x < -\nu\} = \int_{-\nu}^{\nu} p(x)dx. \tag{7}$$

Шум определяет вероятность ошибки при передаче сообщения по каналу связи и, в конечном итоге, – пропускную способность канала.

Теорема Шеннона ограничивает предельную пропускную способность канала *I* с заданной полосой пропускания *F* и отношением сигнал/шум *S/N*:

$$I = F \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right); \tag{8}$$

$$\frac{I}{F} \approx \cdot 1{,}44\frac{S}{N}. \tag{9}$$

Для стандартного телефонного канала F = 3 *кГц*, *N/S* = 30 *db*, следовательно, теоретический предел для публичной коммутируемой телефонной сети равен примерно 30 кбит/с. Ослабление для телефонных скрученных пар составляет около 15 дБ/км, дополнительные ограничения возникают из-за перекрестных наводок.

Если рассмотреть сигнал с полосой *F*, то согласно теореме Найквиста частота стробирования должна быть равна или больше 2*F*. При использовании больших частот стробирования можно получить при воспроизведении более высокие гармоники, но они при заданной полосе пропускания все равно будут подавлены. При *K* дискретных уровнях преобразования максимальный поток данных составит 2*F* log2(*K*) бит/с, что при *F = 4* кГц/с и *K* = 256 даст 64 кбит/с. Практически при *F = 4* кГц даже в отсутствие шума нельзя получить скорость передачи более 8 кбит/с (если передается один бит за такт).

Из теоремы Шеннона следует, что при нулевом уровне шума можно получить сколь угодно высокую скорость передачи при сколь угодно низкой полосе пропускания канала.

По существу, К. Шеннон развил идеи Найквиста.

Если используется двоичное представление сигнала, то согласно теореме Найквиста, максимальная скорость передачи данных *I* по каналу без шума составит:

$$I = F \cdot \log_2 V \text{ (бит/с)}, \tag{10}$$

где *F* – полоса пропускания канала в Гц, а *V* – число дискретных уровней сигнала на выходе цифрового преобразователя.

Суть теоремы Найквиста – Котельникова заключается в том, что при полосе сигнала *F* частота стробирования должна быть больше 2*F*, чтобы принимающая сторона могла корректно восстановить форму исходного сигнала. По этой причине для стандартного телефонного канала с полосой *F* = 3 кГц, при отсутствии шумов и при *V* = 2 нельзя получить скорость передачи более 6 кбит/с. Здесь нет противоречия с теоремой Шеннона. Ведь в отсутствие шумов значение *V* не будет иметь ограничения сверху. Здесь не имеется в виду, что максимальная амплитуда сигнала может достигнуть киловольтов. Но в отсутствие шумов можно и в пределах одного вольта представить себе любое число уровней сигнала. Фактически теорема Шеннона проясняет то, как уровень шумов ограничивает предельное значение *V* при заданной максимальной амплитуде сигнала.

Проанализировав влияние шумов и помех, можно сделать вывод, что приём чистого незашумлённого сигнала крайне важен, особенно в условиях маломощного источника или большой дальности приёма, так как в данных условиях в подавляющем большинстве случаев отношение уровня сигнала к уровню шума составит небольшую величину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сэломон, Д. Сжатие данных, изображения и звука / Д. Сэломон. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
2. Конхейм, А.Г. Основы криптографии / А.Г. Конхейм. – М. : Радио и связь, 1987.
3. Морелос-Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение / Р. Морелос-Сарагоса ; пер. с англ. В.Б. Афанасьева. – М. : Техносфера, 2006. – 320 с. – (Мир связи).