



# Программное средство для оценки потенциальных возможностей сохранения целостности информации при ее передаче по каналам с аддитивным белым гауссовским шумом

**Д. К. Беспалов**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Б. В. Султанов**

Пензенский государственный университет, Россия, 440026 г. Пенза, ул. Красная, 40

**Аннотация.** В настоящее время жизнь человека немыслима без систем передачи информации, при этом практически в любой среде распространения сообщений всегда присутствуют различные мешающие факторы (любое воздействие на сигнал, препятствующее правильному приему сообщения), так или иначе маскирующие сигнал, – преднамеренные либо непреднамеренные атаки. Они подразделяются на аддитивные и мультипликативные. Аддитивные характеризуются тем, что смесь сигнала  $s(t)$  и шума  $n(t)$  на входе приемника представляет собой их сумму:  $x(t) = s(t) + n(t)$ . Определяющим видом помех в канале передачи сообщений являются аддитивные помехи, присутствующие практически во всех каналах связи, поэтому в данной работе рассматривается именно этот вид помех. В большинстве практически важных случаев можно считать, что помеха представляет собой белый шум, т.е. является стационарным флуктуационным колебанием, имеющим равномерный частотный спектр в диапазоне частот от 0 до  $\infty$ . Белый шум как обобщенный процесс не имеет никаких распределений вероятности, но после прохождения через фильтр он всегда превращается в гауссовский процесс. Для противодействия непреднамеренным атакам в виде аддитивного гауссовского шума применяются помехоустойчивое кодирование и такое построение приемника, при котором вероятность ошибочного приема минимальна. В данной статье приведено описание программного средства, разработанное в предоставляемом программном пакете *Scilab* для оценки потенциальных возможностей сохранения целостности информации при ее передаче по каналам с аддитивным белым гауссовским шумом.

**Ключевые слова:** амплитудная модуляция, фазовая модуляция, частотная модуляция, белый шум, когерентный приемник.

## Software for assessing potential feasibilities for information integrity maintenance during its transmission via channels with additive white Gaussian noise

**D. K. Bepalov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**B. V. Sultanov**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, 440026, Penza, Russia

**Abstract.** At present, human life is unthinkable without data transmission systems, while in almost any message distribution environment there are always various disturbing factors (any impact on the signal that prevents the correct reception of the message), somehow masking the signal, intentional or unintentional attacks. They are divided into additive and multiplicative. Additives are characterized by the fact that the signal  $s(t)$  and noise  $n(t)$  mixture at the receiver input is their sum:  $x(t) = s(t) + n(t)$ . The determining type of interferences in the message transmission channel is additive interferences present in almost all communication channels; therefore, this type of interferences is considered in this paper. In most practically important cases, it could be considered that the interference is white noise, i.e. it is a stationary fluctuation oscillation having a uniform frequency spectrum in the frequency range from 0 to  $\infty$ . White noise as a generalized process has no probability distribution, but after passing through a filter, it always turns into a Gaussian process. To counteract unintentional attacks in the form of additive Gaussian noise, error correcting coding and such construction of the receiver, in which the probability of erroneous reception is minimal, are applied. This article describes the software developed in the *Scilab* software package for assessing the potential feasibilities for information integrity maintenance during its transmission via channels with additive white Gaussian noise.

**Keywords:** amplitude modulation, phase modulation, frequency modulation, white noise, coherent receiver.

Пусть на входе приемного устройства действует сигнал

$$Z(t) = S'_j(t) + n(t) \quad 0 \leq t \leq T; \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где  $S'_j(t)$  – сигнал на выходе канала связи, соответствующий  $j$ -й гипотезе относительно переданного дискретного сообщения  $b_j$ ;  $n(t)$  – случайный процесс типа белого шума со спектральной площадью мощности  $G_0$  и нормальным законом распределения вероятностей мгновенных значений с нулевым средним  $\overline{n(t)} = 0$ ;  $T$  – длительность посылки элементарного дискретного сообщения;  $m$  – объем алфавита источника передаваемых дискретных сообщений.

При известной в месте приема форме двоичных сигналов  $S'_j(t)$ ,  $j = \overline{1, 2}$  и равных вероятностях передаваемых символов оптимальным в смысле критерия максимума апостериорной вероятности (критерий идеального наблюдения) должен выносить гипотезу в пользу  $i$ -й гипотезы о переданном сообщении по правилу

$$\int_0^T Z(t) S'_1(t) dt - \frac{1}{2} E'_1 \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \begin{matrix} b_2 \\ b_1 \end{matrix} < \int_0^T Z(t) S'_2(t) dt - E'_2, \quad (2)$$

где  $E'_j = \int_0^T [S'_j(t)]^2 dt$  – энергия  $j$ -го сигнала в месте приема,  $j = \overline{1, 2}$ .

При передаче двоичных сообщений с использованием амплитудной и фазовой манипуляции (АМ и ФМ) гармонической несущей правило (2) можно привести к виду

$$\int_0^T Z(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) dt \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \begin{matrix} b_2 \\ b_1 \end{matrix} \lambda, \quad (3)$$

где  $\lambda = 0$  при ФМ и  $\lambda = \frac{aT}{4}$  при АМ;  $a$ ,  $\omega_0$ ,  $\varphi_0$  – соответственно амплитуда, круговая частота и фаза несущего колебания.

При использовании частотной манипуляции с ортогональными сигналами  $S_1(t) = \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$  и  $S_2(t) = \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$  правило (2) принимает вид

$$\int_0^T Z(t) \cos(\omega_1 t + \varphi_1) dt > \int_0^T Z(t) \cdot \cos(\omega_2 t + \varphi_2) dt . \quad (4)$$

Приемник, реализующий алгоритмы (3) и (4), называется когерентным, так как для его работы необходимо совпадение фаз генерируемых в месте приема и приходящих из канала гармонических колебаний.

Алгоритмы (3) и (4) и исследуются в настоящей лабораторной работе.

Оптимальный приемник при выбранном способе модуляции и параметрах шума канала обеспечивает минимальную вероятность ошибочного приема сообщений. Поэтому его помехоустойчивость называют потенциальной.

В теории потенциальной помехоустойчивости показывается, что вероятность ошибки оптимального когерентного приемника двоичных дискретных сообщений с модуляцией гармонической несущей определяется следующими соотношениями:

– для сигналов с АМ:

$$P_{AM} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(\sqrt{h/2})]; \quad (5)$$

– для ортогональных сигналов с ЧМ:

$$P_{ЧМ} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(\sqrt{h})]; \quad (6)$$

– для сигналов с ФМ:

$$P_{ФМ} = \frac{1}{2} [1 - \Phi(\sqrt{2h})], \quad (7)$$

где  $h = E / G_0$  – отношение «сигнал-шум»;  $E$  – энергия сигнала (для АМ – при передаче ненулевого символа) на интервале  $0, T$ ;  $G_0$  – односторонний энергетический спектр белого шума;

$$\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \quad (8)$$

функция Крампа.

При проведении расчетов, предусмотренных пунктом 1.2 рабочего задания, следует иметь в виду, что фигурирующее в формулах (5)–(7) значение  $h$  и значение  $h_{dB}$ , задаваемое в табл. П.1 и 1.1, связаны соотношениями

$$h = 10^{0,1 h_{dB}}; \quad h_{dB} = 10 \lg h. \quad (9)$$

Значения функции  $\Phi(x)$  (или линейным образом связанных с ней других аналогичных функций) подробно табулированы и приводятся в математических справочниках и во многих книгах по теории вероятностей. Однако в данной лабораторной работе для их вычисления удобно воспользоваться возможностями, предоставляемыми программным пакетом *Scilab*. Присутствующая в этом пакете команда *cdfnor* ("PQ", x, μ, D) обеспечивает вычисления интеграла вероятностей

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{x-\mu}{\sqrt{D}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (10)$$

Полагая в формуле (10)  $\mu = 0$ ,  $D = 1$  и учитывая, что при этих условиях

$$F(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{1}{2},$$

нетрудно показать, что задаваемая выражением (8) функция  $\Phi(x)$  связана с  $F(x)$  соотношением

$$\Phi(x) = 2[F(x) - \frac{1}{2}] = 2F(x) - 1. \quad (11)$$

Подставляя этот результат в формулы (5)–(7), получаем

$$P_{AM} = 1 - F(\sqrt{h/2}); P_{ЧМ} = 1 - F(\sqrt{h}); P_{ФМ} = 1 - F(\sqrt{2h}). \quad (12)$$

Блок-схема укрупненного алгоритма моделирующей программы представлена на рис. 1.



Рис. 1

Она включает в себя пять блоков. В блоке 1 осуществляется ввод определяющих режим моделирования данных. К их числу относятся: вид модуляции (АМ, ЧМ или ФМ), отношение «сигнал-шум» на входе приемника  $h$  dB и значение  $n$  необходимого объема эксперимента. В блоке 2 производится формирование последовательности  $n$  равновероятных двоичных сообщений, а также формирование соответствующего им АМ-, ЧМ- или ФМ-манипулированного сигнала. В блоке 3 осуществляется измерение энергии  $E$  модулированного сигнала, соответствующего передаче одного элементарного сообщения длительностью  $T$  (ненулевого при АМ), а затем формируются отсчеты дискретного белого гауссовского шума, энергетический спектр которого при измеренном значении  $E$  бес-

печивает заданное на моделирование отношение «сигнал-шум»  $h_{dB}$ . Отсчеты этого шума складываются с отсчетами передаваемого сигнала, формируя тем самым выходной сигнала канала.

В блоке 4 производится моделирование оптимального приемника сигналов, выполняемое в соответствии с правилами (3) или (4). Полученные при этом оценки принимаемых символов сравниваются с символами, сформированными на передаче; при несовпадении фиксируются ошибки. Отношение количества обнаруженных ошибок к общему объему эксперимента и представляет собой оценку вероятности ошибки [1, 2].

#### **Библиографический список**

1. Теория передачи сигналов / А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк. – Москва : Связь, 1980.
2. Гуров, И. П. Основы теории информации и передачи сигналов / И. П. Гуров. – Санкт-Петербург : ВHV-Санкт-Петербург, 2000.

#### **Образец цитирования:**

Беспалов, Д. К. Программное средство для оценки потенциальных возможностей сохранения целостности информации при ее передаче по каналам с аддитивным белым гауссовским шумом / Д. К. Беспалов, Б. В. Султанов // Инжиниринг и технологии. – 2019. – Vol. 4(1). – С. 1–5. – DOI 10.21685/2587-7704-2019-4-1-8.