

# МОДЕЛЬ ОБНАРУЖИТЕЛЯ СИГНАЛА С ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ В АДДИТИВНЫХ ШУМАХ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВИДА

Синицын С.И.

Московский технический университет связи и информатики  
111024, Москва, Авиамоторная ул. 8а, кафедра ТЭЦ

Помехоустойчивость систем связи рассчитывается по классическим методикам для аддитивных гауссовых помех и традиционных видов дискретных сигналов. Любое отступление от указанных рамок рождает проблемы, как правило, не имеющие общего решения. При негауссовых помехах оценка помехоустойчивости системы связи может быть получена только путем математического моделирования: аналитического или имитационного. Аналитическая модель системы связи при негауссовых помехах сложна и требует большого вычислительного ресурса. Это делает аналитическое моделирование неэффективным с точки зрения интеллектуальных и материальных затрат.

Имитационное моделирование системы приема сигналов при негауссовых аддитивных помехах может быть проведено существенно быстрее и с меньшими затратами, что делает его значительно эффективнее аналитического.

настоящей работе представлена имитационная модель обнаружителя сигнала с частотной манипуляцией в аддитивных шумах произвольного вида. Модель работает в среде приложения MathCAD 2000. Выбор данного приложения обусловлен с одной стороны желанием сделать процесс моделирования широкодоступным, а с другой тем, что данное приложение предоставляет очень много возможностей для имитации различных видов сигналов и помех.

Выбор алгоритма обнаружения. Обычный способ демодуляции сигнала с частотной манипуляцией состоит в подаче его на два различных фильтра с последующим сравнением их выходных сигналов с принятием решения в пользу одного из них («1» или «0»). В модели фильтрация осуществляется выбором соответствующих частотам манипуляции областей в спектральной плотности сигнала, вычисленным с помощью быстрого преобразования Фурье.

Такой подход удобен тем, что процедура выбора упомянутых частотных областей может быть проведена как угодно, то есть может быть смоделирован любой фильтр:

$$h_{w,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 140 \\ 1 & \text{if } 140 \leq w < 160 \\ 0 & \text{if } 160 \leq w \end{cases}$$

Как видно, коэффициент передачи фильтра равен 0 на частотах ниже 140 Гц и выше 160 Гц, а на частотах от 140 до 160 Гц – единице. Данный алгоритм моделирует идеальный полосовой фильтр с прямоугольной характеристикой. Модель фильтра с характеристикой типа гауссовой кривой имеет вид:

$$h_{w,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 140 \\ \frac{1}{1 + Q \cdot (150 - w)^4} & \text{if } 140 \leq w < 160 \\ 0 & \text{if } 160 \leq w \end{cases}$$

Аналогично можно моделировать фильтры Баттерворта, Чебышёва, Кауэра практически любого порядка (в пределах возможностей физической реализации).

Моделирование смеси сигнала и негауссовой помехи проводится путем генерации отсчетов сигнала (гармонического в пределах посылки) и отсчетов шума в виде случайных чисел (MathCAD 2000 имеет более десяти встроенных датчиков случайных чисел с различными законами распределения). Модель гармонической посылки, на которой взято 256 отсчетов с равномерным шумом имеет вид:

$$x_{t,k} := \begin{cases} \sin\left(100 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{e}\right) + \text{rnd}(g) - \frac{g}{2} & \text{if } 0 \leq t < 256 \\ 0 & \text{if } 256 \leq t \end{cases}$$

При использовании в качестве модели помехи датчика случайных чисел, соседние отсчеты шума некоррелированы, то есть интервал корреляции помехи получается меньше интервала между отсчетами. Если требуется модель помехи с большим интервалом корреляции, то можно либо увеличить интервал между отсчетами, либо ввести некоторое окно на выходе датчика случайных чисел.

Модель фиксирует ошибку обнаружения сигнала с частотной манипуляцией, если при действии на входе модели посылки с частотой 1000 Гц мощность сигнала на выходе фильтра с центральной частотой полосы пропускания 1500 Гц будет больше, чем на выходе фильтра настроенного на 1000 Гц.

Модель обнаружителя сигнала при действии помехи с равномерным законом имеет вид:

$$x1_{t,k} := \begin{cases} \sin\left(1000 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{512}\right) + \text{rnd}(3) & \text{if } 0 \leq t < 256 \\ 0 & \text{if } 256 \leq t \end{cases} \quad x2_{t,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t < 256 \\ \sin\left(1500 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{512}\right) + \text{rnd}(3) & \text{if } 256 \leq t \end{cases}$$

$$y1 := \text{cfft}(x1) \quad y2 := \text{cfft}(x2)$$

$$h1_{w,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 900 \\ 1 & \text{if } 900 \leq w < 1100 \\ 0 & \text{if } 1100 \leq w \end{cases} \quad h2_{w,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 1400 \\ 1 & \text{if } 1400 \leq w < 1600 \\ 0 & \text{if } 1600 \leq w \end{cases}$$

$$u11_{w,k} := y1_{w,k} \cdot h1_{w,k} \quad u21_{w,k} := y2_{w,k} \cdot h1_{w,k}$$

$$u12_{w,k} := y1_{w,k} \cdot h2_{w,k} \quad u22_{w,k} := y2_{w,k} \cdot h2_{w,k}$$

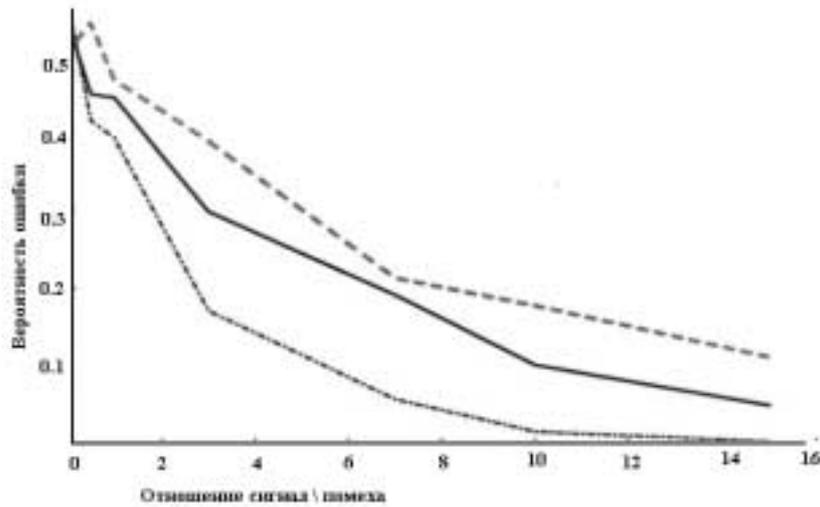
$$a11_k := \sum_w \frac{(|u11_{w,k}|)^2}{512} \quad a22_k := \sum_w \frac{(|u22_{w,k}|)^2}{512}$$

$$a12_k := \sum_w \frac{(|u12_{w,k}|)^2}{512} \quad a21_k := \sum_w \frac{(|u21_{w,k}|)^2}{512}$$

$$n_k := \begin{cases} 1 & \text{if } a11_k \geq a12_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad m_k := \begin{cases} 1 & \text{if } a22_k \geq a21_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad q_k := \begin{cases} 1 & \text{if } n_k + m_k = 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$p := \frac{\sum_k q_k}{\max(j)} \quad \sum_k q_k = \blacksquare \quad \sum_k n_k = \blacksquare \quad \sum_k m_k = \blacksquare \quad p = \blacksquare$$

На рисунке приведены результаты тестирования модели обнаружителя сигналов частотной телеграфии для случая использования фильтров с различными полосами пропускания: 100 Гц (штрихпунктирная кривая), 200 Гц (сплошная кривая) и 300 Гц.



Результаты говорят об адекватности модели исследуемым процессам, так как хорошо совпадают с данными измерений [1].

Представленная модель может быть использована для исследования систем радиосвязи различных типов. Например, при исследовании обнаружителя под действием мультипликативных помех (замираний) модель отличается от приведенной выше наличием зависимости от времени коэффициента передачи канала связи.

Литература

1. Е.А.Хмельницкий Оценка реальной помехозащищенности приема сигналов в КВ диапазоне. – М.: Связь, 1975.- 232с.



**FAULT DETECTOR' MODEL OF A SIGNAL WITH FREQUENCY BY MANIPULATION IN ADDITIVE NOISE OF AN ANY KIND**

Sinitsyn S.I.

The Moscow technical university of communication and computer science  
111024, Moscow, Aviamotornaya st. 8a, faculty TEC

The noise stability of systems of communication pays off on classical techniques for additive gaussian of handicapes and traditional kinds of discrete signals. Any deviation from the specified frameworks gives rise to problems, as a rule, not having the general decision. At non-gaussian handicapes the estimation of a noise stability of system of communication can be received only by mathematical modeling: analytical or imitating. The analytical model of system of communication at non-gaussian handicapes is complex and requires the large computing resource. It makes analytical modeling inefficient from the point of view of intellectual and material inputs.

The imitating modeling of system of reception of signals at non-gaussian additive handicapes can be carried out much faster and with smaller expenses, that makes it much more effectively analytical.

In the present work the imitating fault detector' model of a signal with frequency by manipulation in additive noise of an any kind is submitted. The model works in environment of the appendix MathCAD 2000. The choice of the given appendix is caused on the one hand by desire to make process of modeling wide-accessible, and with another of themes, that given the appendix gives very many opportunities for imitation of various kinds of signals and handicapes.

Choice of algorithm of detection. The usual way of demodulation of a signal with frequency by manipulation consists in submission him on two various filters with the subsequent comparison of their target signals with acceptance of the decision for the benefit of one of them ("1" or "0"). In model the filtration is carried out by a choice of the manipulation, appropriate to frequencies, of areas in spectral density of a signal calculated with the help of fast transformation of Fourie.

Such approach is convenient by that the procedure of a choice of the mentioned frequency areas can be carried out somehow, that is any filter can be simulated:

$$h_{2,w,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 140 \\ 1 & \text{if } 140 \leq w < 160 \\ 0 & \text{if } 160 \leq w \end{cases}$$

As it is visible, factor of transfer of the filter is equal 0 on frequencies below 140 Hz and above 160 Hz, and on frequencies from 140 up to 160 Hz - to unit. The given algorithm simulates the ideal strip filter with the rectangular characteristic. The model of the filter with the characteristic such as gaussian by a curve looks like:

$$h_{2,w,k} := \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 140 \\ \frac{1}{1 + Q \cdot (150 - w)^4} & \text{if } 140 \leq w < 160 \\ 0 & \text{if } 160 \leq w \end{cases}$$

It is similarly possible to simulate filters of Battervort, Chebyshev, Kauer practically of any order (within the limits of opportunities of physical realization).

The modeling of a mix of a signal and non-gaussian of a handicap will be carried out by generation of readout of a signal (a harmonic within the limits of a parcel ) and readout of noise as random numbers (MathCAD 2000 has more than ten built - in random-number generators with the various laws of distribution). Harmonic model of a parcel, on which 256 readout with uniform noise are taken looks like:

$$x_{1,t,k} := \begin{cases} \sin\left(100 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{e}\right) + \text{rnd}(g) - \frac{g}{2} & \text{if } 0 \leq t < 256 \\ 0 & \text{if } 256 \leq t \end{cases}$$

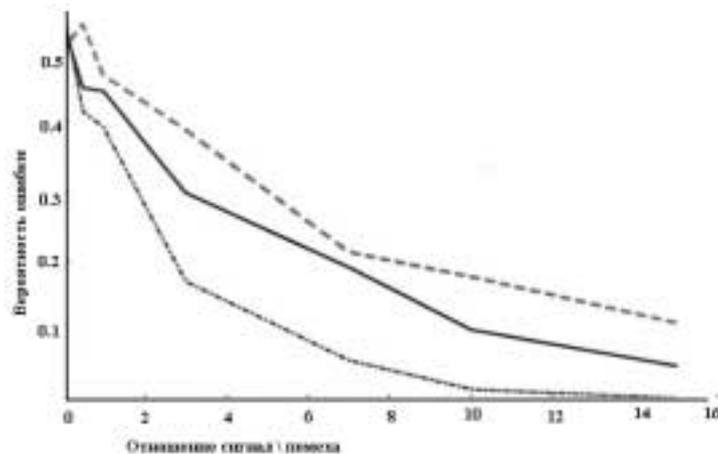
At use as model of a handicap of the random-number generator next readout of noise uncorrelated, that is the interval of correlation of a handicap turns out less interval between readout. If the model of a handicap with the large interval of correlation is required, it is possible or to increase an interval between readout, or to enter some window on an output of the random-number generator.

The model fixes a mistake of detection of a signal with frequency by manipulation, if at action on an input of model of a parcel with frequency 1000 Hz the capacity of a signal on an output of the filter with the central frequency of a passband 1500 Hz will be more, than on an output of the filter adjusted on 1000 Hz .

The fault detector' model of a signal at action of a handicap with the uniform law looks like:

$$\begin{aligned}
 x1_{t,k} &:= \begin{cases} \sin\left(1000 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{512}\right) + \text{rnd}(3) & \text{if } 0 \leq t < 256 \\ 0 & \text{if } 256 \leq t \end{cases} & x2_{t,k} &:= \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq t < 256 \\ \sin\left(1500 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{512}\right) + \text{rnd}(3) & \text{if } 256 \leq t \end{cases} \\
 y1 &:= \text{cfft}(x1) & y2 &:= \text{cfft}(x2) \\
 h1_{w,k} &:= \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 900 \\ 1 & \text{if } 900 \leq w < 1100 \\ 0 & \text{if } 1100 \leq w \end{cases} & h2_{w,k} &:= \begin{cases} 0 & \text{if } 0 \leq w < 1400 \\ 1 & \text{if } 1400 \leq w < 1600 \\ 0 & \text{if } 1600 \leq w \end{cases} \\
 u11_{w,k} &:= y1_{w,k} \cdot h1_{w,k} & u21_{w,k} &:= y2_{w,k} \cdot h1_{w,k} \\
 u12_{w,k} &:= y1_{w,k} \cdot h2_{w,k} & u22_{w,k} &:= y2_{w,k} \cdot h2_{w,k} \\
 a11_k &:= \sum_w \frac{(|u11_{w,k}|)^2}{512} & a22_k &:= \sum_w \frac{(|u22_{w,k}|)^2}{512} \\
 a12_k &:= \sum_w \frac{(|u12_{w,k}|)^2}{512} & a21_k &:= \sum_w \frac{(|u21_{w,k}|)^2}{512} \\
 n_k &:= \begin{cases} 1 & \text{if } a11_k \geq a12_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & m_k &:= \begin{cases} 1 & \text{if } a22_k \geq a21_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} & q_k &:= \begin{cases} 1 & \text{if } n_k + m_k = 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 p &:= \frac{\sum_k q_k}{\max(j)} & \sum_k q_k &= \blacksquare & \sum_k n_k &= \blacksquare & \sum_k m_k &= \blacksquare & p &= \blacksquare
 \end{aligned}$$

figure the results of testing of fault detector' model of signals frequency of telegraphy for a case of use of filters with various passbands are given: 100 Hz (dash-dotted a curve), 200 Hz (continuous curve) and 300 Hz .



The results speak about adequacy to model to researched processes, as well coincide with the data of measurements [1].

The submitted model can be used for research of systems of a radio communication of various types. For example, at research of fault detector under action multiplicate handicapes (fades) the model differs from dependence, above mentioned by presence, on time of factor of transfer of the channel of communication.

**References**

1. E.A. Hmelniyskiy. Estimation real noise immunity of reception of signals in SW a range. - M.: Communication, 1975.- 232 p.