

## Обработка сигналов в радиотехнических системах

### ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ-РАЗРЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

Чеботарев Д.В.

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого.

Применение сложных квазинепрерывных сигналов с большой базой позволяет получить ряд серьезных преимуществ в радиолокационных приложениях [1],[2]. К наиболее значительным следует отнести высокую помехозащищенность к воздействию активных помех, повышенный энергетический потенциал, одновременное и однозначное измерение дальности и скорости цели. По-видимому, самым серьезным недостатком таких сигналов является недостаточная устойчивость к воздействию мешающих отражений, которая выражается в том, что отражения от подстилающей поверхности маскируют обнаружение слабых удаленных целей, воздействуя по боковым лепесткам функции неопределенности (БЛ ФН).

Кроме синтеза сигналов с пониженным уровнем БЛ ФН для преодоления указанного недостатка можно применить специальные методы обработки, которые в той или иной форме используют компенсацию мешающих отражений [3]. Далее рассматривается итерационный алгоритм обнаружения-разрешения сложных квазинепрерывных сигналов, основанный на классической процедуре согласованной обработки сигнала фиксированной длительности, позволяющей выполнить обнаружение сигнала и получить оценки задержки, частоты и комплексной амплитуды обнаруженных сигналов. Эти оценки используются для компенсации самых мощных отражений и последующего обнаружения более слабых сигналов.

Рассматриваемый алгоритм компенсационной обработки состоит в реализации последовательных итераций, каждая из которых содержит 3 основные процедуры:

1. обнаружение наиболее мощных помех с помощью корреляционно-фильтровой обработки исходного сигнала в заданном диапазоне частотно-временных сдвигов и вычисления адаптивного порога;
2. оценивание комплексных амплитуд обнаруженных сигналов путем устранения взаимных помех;
3. имитация и компенсация (вычитание) имитированных помех из исходного принятого сигнала (получение их разности, то есть, ошибки компенсации).

Во всех последующих итерациях, после первой, в качестве исходного сигнала используется ошибка компенсации, полученная на предыдущей итерации.

При такой постановке задачи разделение на мешающие отражения и полезные сигналы является чисто условным. Все отраженные сигналы, независимо от их параметров подвергаются одной и той же процедуре обработки, в результате которой ослабляется влияние сильных сигналов на обнаружение более слабых, то есть реализуется их разрешение. Разумеется, что компенсация обнаруженных сигналов не приводит к потере информации о них, сохраняемой в виде оценок параметров.

Рассмотрим блок-схему алгоритма, приведенную на рис.1. Здесь, кроме перечисленных трех основных операций показаны дополнительные, конкретизирующие данный алгоритм. В основном эти операции являются традиционно используемыми при обнаружении сигналов и измерении их параметров, поэтому отметим только специфику отдельных процедур.

- При выполнении корреляционно-фильтровой обработки учитывается бланкирование приемника, связанное с квазинепрерывным режимом излучения и приема сигналов.
- Пороговый обнаружитель реализован на принципе «контрастного» обнаружения сигналов, превышающих адаптивный порог, величина которого устанавливается пропорционально суммарной мощности шума и помех, создаваемых по БЛ ФН.
- Оценивание комплексных амплитуд производится только для сигналов, превысивших порог обнаружения, в соответствии с выражением:

$$\hat{\mathbf{A}}_D = \mathbf{M}_D^{-1} \cdot \mathbf{R}_D, \quad (1)$$

где  $\hat{\mathbf{A}}_D$  - вектор-строка оценок комплексных амплитуд обнаруженных сигналов;

$\mathbf{M}_D$  - корреляционная матрица модулирующих сигналов, задержки и частотные сдвиги которых соответствуют обнаруженным на данной итерации;

$\mathbf{R}_D$  - вектор-столбец результатов корреляционной обработки обнаруженных сигналов.

- Компенсационный сигнал формируется на основании известной структуры модулирующей последовательности, задержек и частотных сдвигов обнаруженных сигналов и оценок их комплексных амплитуд, определяемых выражением (1).

- Завершение итерационного цикла выполняется либо по достижению заданного количества итераций, либо при отсутствии обнаружения новых сигналов на текущей итерации.

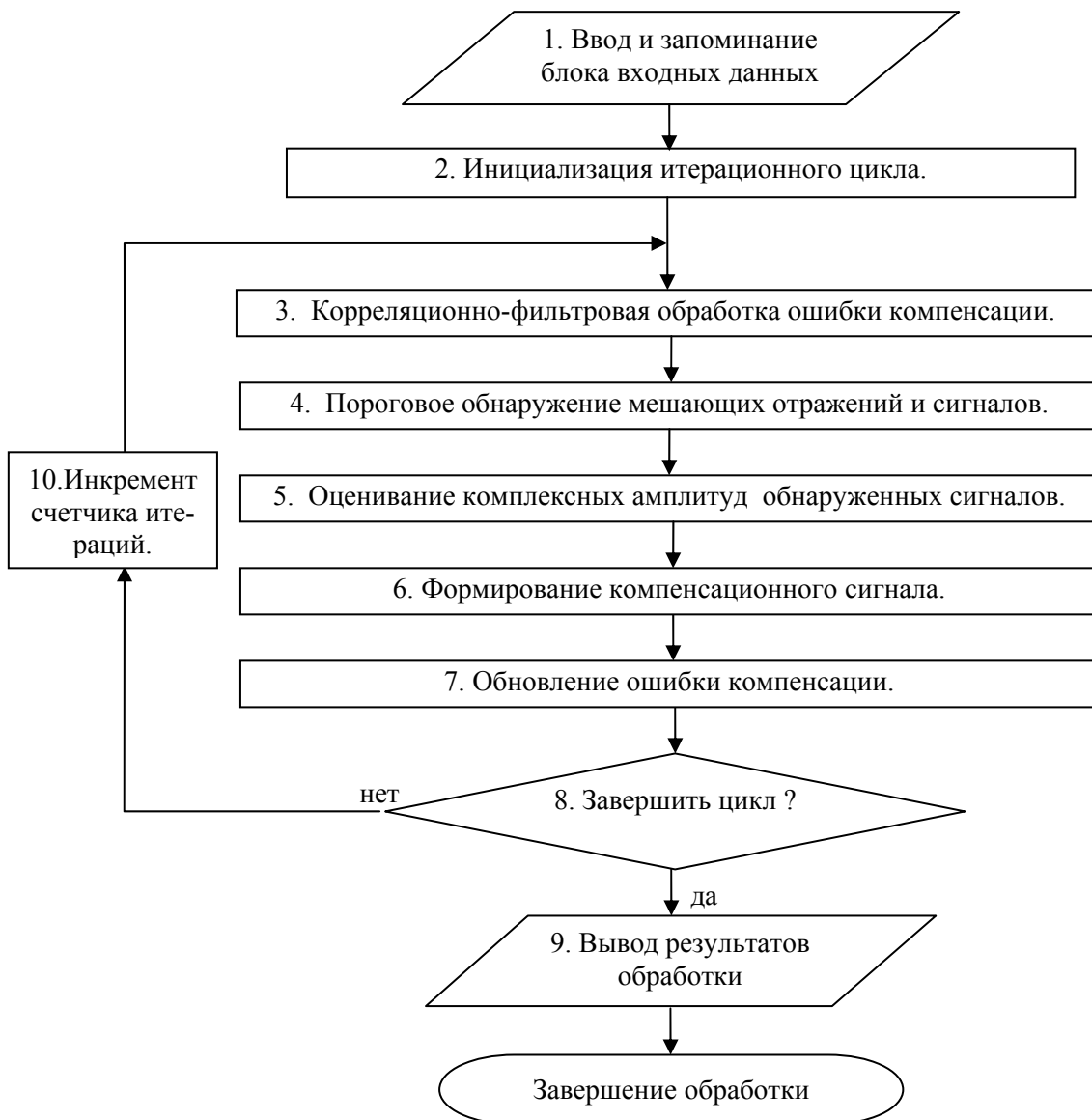


Рис 1 Блок-схема итерационного алгоритма компенсационной обработки сигналов

Исследование характеристик описанного алгоритма производилось на основе анализа среднестатистических характеристик функций рассеяния мешающих отражений и аппроксимации функций неопределенности сложных сигналов с большой базой. Полученные характеристики сравнивались с результатами имитационного статистического моделирования для трех видов мешающих отражений. Различие между ними заключалось в виде корреляционной функции, описывающей флюктуации отражающей поверхности. Анализировались отражения от статических нефлюктуирующих объектов, а также от флюктуирующих объектов с экспоненциальным и гауссовским видом корреляционной функции. Гауссовскому виду корреляционной функции соответствует быстрое затухание интенсивности спектральных компонент при возрастании частоты, а экспоненциальному – медленное. Во всех случаях моделировалось затухание отраженного сигнала пропорциональное третьей степени расстояния.

На рис 2 приведены графики зависимости относительной ошибки  $\eta_k$  компенсации мешающих отражений от количества итераций  $k_{ит}$  при различной базе  $N$  сигнала. Эффективная ширина спектра сигнала в этих расчетах была равна  $\Delta F = 1\text{МГц}$ , а эффективная ширина спектра флюктуаций отражающей поверхности была выбрана равной  $\Delta f = 100\text{ Гц}$ . Мощность шума приемника считалась пренебрежимо малой по сравнению с мощностью мешающих отражений, поэтому при выполнении определенных соотношений глубина компенсации достигала значений 70÷80 дБ.

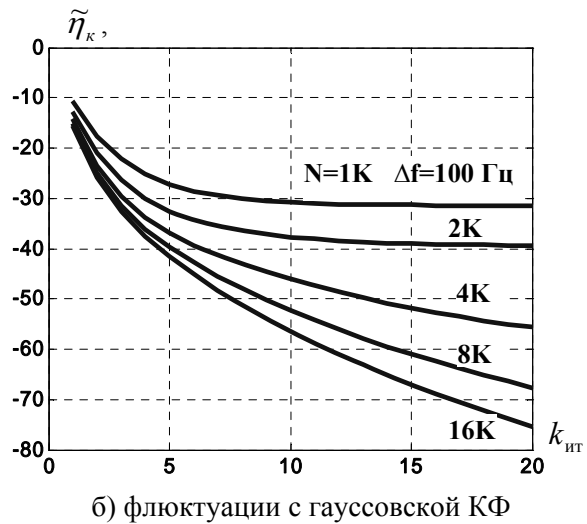
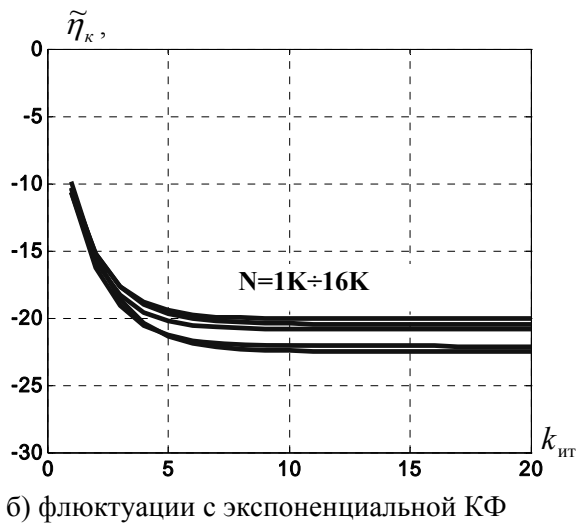
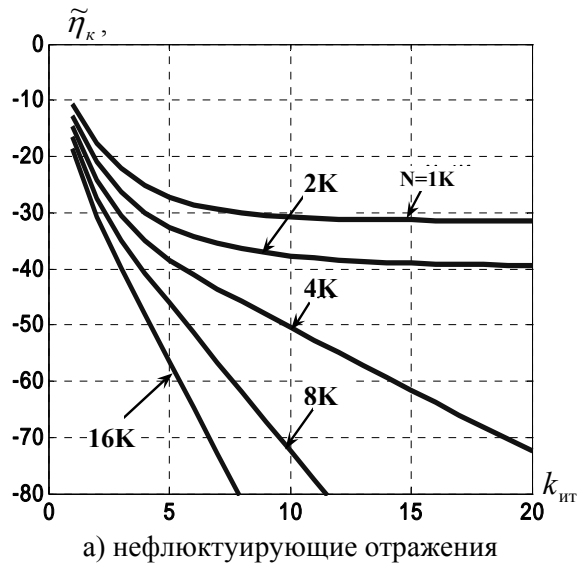


Рис 2. Зависимость относительной ошибки компенсации от количества итераций

Анализ полученных результатов показывает, что для нефлюктуирующих отражений и для отражений с гауссовским типом корреляционной функции флюктуаций может достигаться высокая степень подавления помех. Условия ее достижения следуют из анализа итерационного алгоритма на основе среднестатистических оценок функции рассеяния и аппроксимации функции неопределенности.

$$S_{\Phi}(h) < \frac{1}{C_h^2 \cdot \chi_{\text{бл}}^2 \cdot N}, \quad (2)$$

где  $S_{\Phi}(h)$  - площадь сечения нормированной функции рассеяния на уровне  $h$ ;  $\chi_{\text{бл}}$  - среднеквадратический уровень боковых лепестков нормированной ФН;  $C_h$  - относительный порог обнаружения.

$$N > \frac{\Delta F}{\Delta f(h)}, \quad (3)$$

где  $\Delta f(h)$  - ширина нормированной функции рассеяния по частоте на уровне  $h$ ;  $\Delta F$  - эффективная ширина спектра сигнала.

Таким образом:

- предложен итерационный алгоритм обнаружения-разрешения сложных квазинепрерывных сигналов, позволяющий значительно снизить маскирующее влияние мощных отражений на обнаружение слабых целей;

- получены численные оценки эффективности подавления флюктуирующих и нефлюктуирующих мешающих отражений;
- определены условия эффективного применения предложенного алгоритма.

#### Литература

1. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы: Пер. с англ./Под ред. В.С. Кельзона. -М.: 1971. - 568с.
2. Levanon N., Mozeson E. Radar signals – Hoboken NJ.: John Wiley & Sons Inc., 2004, - 411p.
3. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка - СПб.: Наука и техника, 2005, -400с.

---

### ITERATIVE ALGORITHM OF PSEUDO-RANDOM SIGNAL DETECTION-RESOLUTION

Chebotarev D.

Novgorod State University named Yaroslav-The-Wise.

Using of pseudo-random quasi-continuous signals brings some serious benefits in radar applications. Most important of this are high immunity to active interference, increased energy potential, simultaneous and unambiguous measurement of target distance and speed. Main disadvantage of this signal is insufficient immunity to clutter. As a result, intense surface reflections masked small target detection through side lobes of ambiguity function.

Subject of investigation is iterative algorithm of pseudo-random quasi-continuous signals detection-resolution based on classic matched processing. Estimations of signal delay, frequency and complex amplitude are used for compensation of most powerful echoes and following detection of weak signals.

Analyzed algorithm of compensation processing realizes sequence of iterations inclusive 3 base procedures:

- signal detection by means of correlation processing of source signal in required delay-frequency range and adaptive threshold calculation;

- estimation of detected signals complex amplitudes by means mutual interferences removing;

- imitation and compensation (subtraction) simulated signals from source received signal.

In all subsequent iterations after first as source signal is used compensation error of previous iteration.

The specific features of iterative algorithm procedures are as follows:

- receiver blanking due to quasi-continuous mode of emitting and receiving is taken into account in correlation processing;

- threshold detection is realized by means of “contrast detection” principle, and threshold value is proportionate to sum power of noise and interferences caused ambiguity function side lobes;

- complex amplitude estimation is calculated for detected signals only, and this estimation is based on correlation matrix of modulating sequence and Doppler frequency shift;

- iteration cycle termination take place either maximal number of iteration is achieved or none new signal has detected in present iteration.

Proposed algorithm investigation is carried out on the basis of backscattering function statistical characteristic of fluctuating and nonfluctuating clutter and approximation of ambiguity function. Calculation results are approved by statistical modeling.

Thus, as results of investigation:

- iterative algorithm of pseudo-random quasi-continuous signals detection-resolution is proposed; it provides decreasing the dramatic effect of powerful clutter on weak target detection;

- numerical estimations of efficiency for fluctuating and nonfluctuating clutter suppression have obtained;

- conditions of proposed algorithm effective application are defined.

---