

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

Д.И. Белорусов<sup>1</sup>

1. ООО «РИКОМ» (г. Москва, ул. Ибрагимова 31 корп. 47), тел. (495)6486075, email: belorusov@rusmonitor.ru)

*В докладе рассматривается проблематика обнаружения шумоподобных сигналов с негативным соотношением сигнал\шум в условиях априорной параметрической неопределенности. Приводится обоснование выбора метода анализа спектра сигнала косвенным путем в качестве базового для построения детектора-обнаружителя шумоподобных сигналов. Практическая применимость разработанного детектора подтверждается данными лабораторных экспериментов по обнаружению шумоподобного сигнала с соотношением сигнал\шум минус 20дБ. По результатам экспериментов приводится анализ ошибки обнаружения первого и второго рода*

*Ключевые слова: шумоподобные сигналы, PXIe-5665, анализ спектра сигнала косвенным путем, программная оболочка «Тор».*

## 1. Постановка задачи

Основным признаком, по которому сигналы, рассматриваемые в настоящем докладе, выделяются в отдельный класс шумоподобных сигналов (сигналов с шумоподобным спектром), является то, что спектральная мощность таких сигналов в занимаемой полосе на длительном интервале наблюдения сопоставима с мощностью шума в этой полосе или ниже. Наибольший интерес для обнаружения представляет случай, при котором имеет место негативное соотношение сигнал\шум на входе приемного устройства.

Задача обнаружения шумоподобных сигналов состоит в отыскании метода, который, в том числе при негативном соотношении сигнал\шум выделит признак, допускающий различение выборки, состоящей из аддитивной смеси сигнала и шума, от выборки, содержащей только шум. Реализацией метода должен являться детектор, который должен сопоставить этому признаку некоторую количественную меру - метрику. Метрика должна обладать доставочным разрешением, чтобы признак можно было обнаружить, в том числе автоматизировано пороговой схемой.

Под "обнаружением", в данном случае, понимается фиксирование детектором с заданными вероятностями обнаружения (ошибка первого рода) и ложной тревоги (ошибка второго рода) факта наличия признаков искомого сигнала на фоне аддитивного шума.

## 2. Используемое оборудование и программное обеспечение

В настоящей работе использовалось следующее оборудование: векторный приемник NI PXIe-5665, программный спектроанализатор NI RFSA, код для регистрации потоковых данных в среде LabView, среда MatLab R2013a, собственный программный код, выполненный на C++, вспомогательное оборудование: генератор сигналов на базе USRP B200 и набор аттенуаторов.

## 3. Описание решения.

Шумоподобные сигналы достаточно широко используются в системах связи, поэтому обработка таких сигналов, в частном случае, когда приемник и передатчик синхронизированы, не является проблемой, в том числе и при негативном соотношении сигнал\шум.

Однако, как только задача обнаружения усложняется априорной параметрической неопределенностью, а именно, когда центральная частота, полоса, вид модуляции и временные параметры передаваемого сигнала неизвестны, классические детекторы сигналов оказываются неэффективными, поскольку в таких условиях сигнал на длительном интервале наблюдения эквивалентен «белому» шуму.

Ситуация еще больше усугубляется, если допустить, что и среда распространения сигнала неидеальна, и сигнал подвержен искажениям, замираниям, интерференции.

Приемный тракт поискового приемника может вносить искажения в сигнал, что обусловлено, в том числе, параметрической неопределенностью.

И наконец, требуется реализовать решение задачи в условиях ограниченных вычислительных ресурсах при том, что полосы анализируемых шумоподобных сигналов могут быть до 50 МГц, а в перспективе и более.

Проанализировав доступные на момент начала исследования источники, мы не нашли прикладного решения этой задачи.

Далее нами были проанализированы некоторые стандартные методы, которые используются для обработки шумоподобных сигналов:

- БПФ спектр и спектральные производные, в т.ч. высоких порядков;

- автокорреляционный сдвиговый детектор;
- циклоstationарная обработка сигнала;
- детектор на основе статистических методов анализа и др.

По результатам анализа был выбран метод оценки спектра сигнала косвенным путем, позволяющий получить достаточную достоверность распознавания сигналов в условиях поставленной задачи. На его основе был разработан детектор-обнаружитель шумоподобных сигналов с негативным соотношением сигнал\шум в условиях априорной параметрической неопределенности.

Рассмотрим некоторые допущения, которые были использованы в работе:

1. Неизвестные параметры сигнала изменяются в пределах ограниченного диапазона и/или выбираются из конечного ряда значений.
2. Обнаружение сигналов проводится на фоне аддитивного белого гауссовского шума.
3. Существует некоторая опорная выборка, содержащая условно «чистый» шум без сигнала или с неразличимо малой примесью сигнала.
4. Длительность сигнала больше или равна интервалу наблюдения.

Поставленная задача была решена сначала в виде математической модели в среде MatLab, в которой был отмоделирован алгоритм оценки спектра шумоподобных сигналов косвенным путем. После получения положительных результатов решение было реализовано в виде программного кода детектора на C++.

Обобщенно, полученное решение можно классифицировать как вид спектральной корреляции, когда исследуемая выборка сравнивается с другой, содержащей заведомо «чистый» шум.

Можно считать, что результаты, полученные в настоящей работе, сопоставимы с результатами, которые могли бы быть получены, если бы над исследуемыми выборками, размером несколько десятков миллионов отсчетов, произвести Фурье преобразование (ФП), однако у разработанного детектора многократно более низкая требовательность к вычислительным ресурсам, чем у ФП.

Преимуществами предложенного решения являются:

- а) нечувствительность детектора к искажениям фронтов импульсов, вследствие рассогласования полосы приемника и полосы сигнала и межсимвольной интерференции;
- б) возможность использования массива, состоящего из несвязанных выборок непрерывных данных, в котором элементы (выборки) имеют разрыв фазы без существенного ухудшения результатов распознавания;
- в) индифферентность метода к частотному сдвигу искомого сигнала внутри полосы анализа;
- г) код детектора оптимизирован таким образом, чтобы операции над потоковыми данными в широкой полосе могли выполняться в ПЛИС, а по каналу связи для обработки на ПЭВМ передаются только коэффициенты.

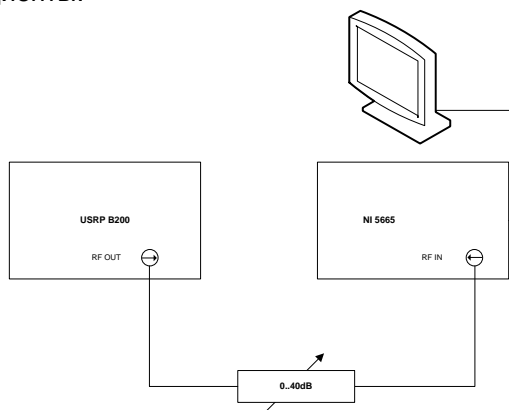


Рис.1. Схема испытательного стенда

На Рис.1 приведена схема испытательного стенда, который использовался для практического подтверждения полученных результатов на реальных сигналах с учетом искажений в приемном устройстве.

Тестовый сигнал - сигнал WCDMA (UMTS), полоса 5 МГц, синтезирован на USRP B200. В качестве спектроанализатора использовался приемник NI PXIe-5665 с программой NFSA. Программная реализация детектора выполнена в виде программной оболочки «Тор».

Суть эксперимента:

1. Нагружаем вход спектроанализатора на выход генератора без сигнала.
2. На экране спектроанализатора ожидаемо наблюдаем шум.
3. С помощью программного кода LabView производим снятие 10 выборок шума по 1e7 отсчетов в каждой с частотой дискретизации 6 MSPS.

4. Подаем с генератора сигнала, уровень которого программно отрегулирован таким образом, чтобы отображаемое спектроанализатором соотношение сигнал\шум составило 10дБ.
  5. Вводим в тракт аттенюатор с ослаблением 30дБ.
  6. На экране спектроанализатора ожидаемо наблюдаем шум без признаков сигнала.
  7. С помощью программного кода LabView производим снятие 10 выборок аддитивной смеси сигнал+шум (с соотношением сигнал\шум минус 30дБ) по  $1e7$  отсчетов в каждой с частотой дискретизации 6 MSPS.
  8. В программе детектора последовательно обрабатываются выборки для шума (1) и для сигнала (3), см. Рис.2 а). Наблюдаем разницу в отображении выборок – потенциал (5).
- Для сравнения селективных способностей детектора повторим эксперимент на выборке сигнал+шум с уровнем минус 30 дБ. Для данного случая такую выборку можно считать альтернативной шумовой выборкой. Рис.2 б)

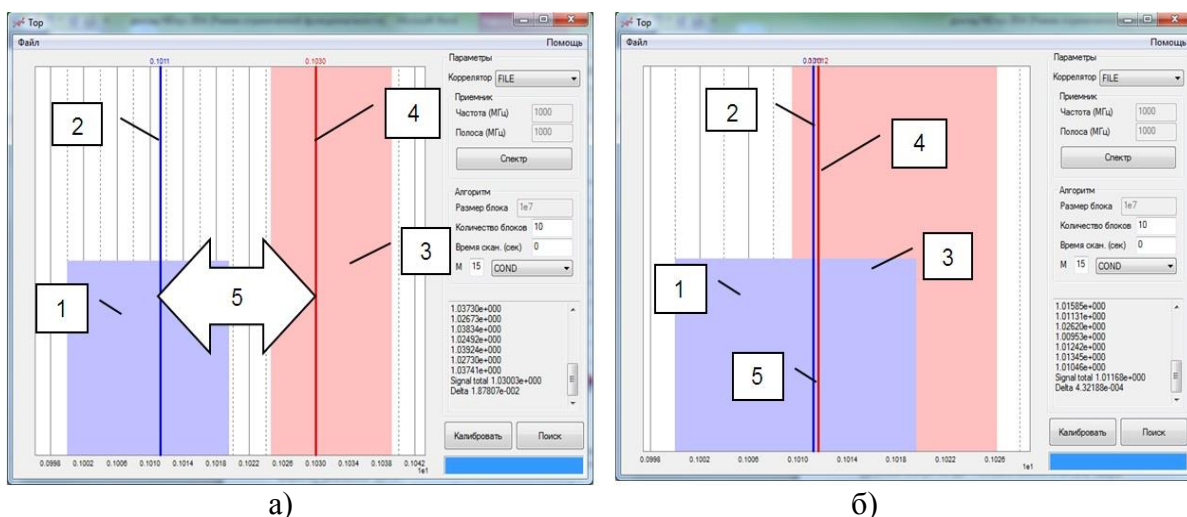


Рис. 2. Результат различения шума и смеси шум+сигнал

- 1) Разброс значений метрики шума на разных выборках.
- 2) Совокупная метрика шума.
- 3) Разброс значений метрики шум+сигнал на разных выборках.
- 4) Совокупная метрика шум+сигнал.
- 5) Потенциал детектора.

Сравнение потенциалов для двух случаев показывает, что разность потенциалов с шумом для смеси с соотношением -20дБ почти на два порядка (100 раз) превосходит разность потенциалов с шумом для смеси с соотношением -30дБ. Это говорит о возможности использования пороговой схемы для различения шума от аддитивной смеси сигнал+шум с уровнем минус 20дБ.

Кроме того, мы можем отчетливо наблюдать, что пересечения области разброса значений метрики для шума и смеси сигнал+шум не наблюдается. Это говорит о том, что вероятность ложной тревоги для данного случая стремится к нулю, а вероятность обнаружения - к единице.

Для иллюстрации данного утверждения ниже приведен анализ распределения вероятностей обнаружения и ложной тревоги, который, в том числе, может быть использован для оценки значений порога обнаружения.

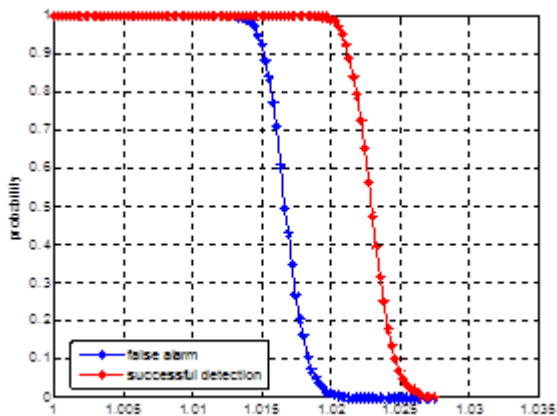


Рис. 3 Распределение вероятностей

Схожие результаты получены в аналогичных тестах для сигналов ППРЧ и ЛЧМ.

#### **4. 4. Внедрение и его перспективы**

Безусловно, анализ выборки на одной частоте представляет лишь научный интерес. Практический интерес будет представлять реализация алгоритма в виде детектора с перестройкой в широком диапазоне частот.

Прикладная область, в которой данное решение может быть востребовано, - это когнитивное радио (cognitive radio). Суть когнитивного радио состоит в том, что частотный ресурс, выделенный одним системам связи, используется другими системами, которые занимают данный частотный ресурс в паузах работы и при простое основной системы.

#### **5. 5. Список литературы.**

1. Д.И. Белорусов, Е.И. Кубов, Поиск устройств негласного получения информации, использующих шумоподобные сигналы. INSIDE №1, 2014.

## **TECHNICAL DETECTION OF SPREAD SPECTRUM SIGNALS**

D. I. Belorusov<sup>1</sup>

1. "REECOM ltd.", Ibragimova str. 31-47, Moscow, Russia Tel. (495)6486075, email: belorusov@rusmonitor.ru)

*The article discusses common principles of spread spectrum signal detection while negative SNR and parameters are uncertain. The article describes the basic detection method and its application for detector design. Viability of obtained results is confirmed by sever tests for spread spectrum signal with minus 20 dB SNR detection.*

*Keywords: spread spectrum signals, PXIe-5665, spectrum analysis, software «Thor».*