

## Метод фильтрации СШП сигналов, основанный на преобразовании Габора

А.В. Кочетов, О.С. Миронов, И.М.Хомяков.

ОАО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, Новосельковская,37, radar@radar-mms.com.

*В статье предлагается метод фильтрации СШП сигналов, основанный на преобразовании Габора. Указывается обоснование целесообразности такого метода фильтрации. Приводятся результаты моделирования и практического эксперимента приема и фильтрации СШП последовательности.*

В настоящее время остро стоит вопрос приема и обработки СШП сигналов. В задаче обнаружения СШП сигналов мы сталкиваемся с рядом сложностей:

- В общем случае нам не известна форма отраженного сигнала, так как нам не известна форма цели

- Неустойчивая помеховая обстановка

Данные трудности делают практически невозможным применение согласованной фильтрации. Использование модели небелого шума резко ухудшает характеристики согласованной фильтрации, а незнание формы принимаемого сигнала приводит к бессмысленности ее использования.

Предлагаемый нами алгоритм фильтрации СШП-сигналов в принимаемой последовательности – оконное преобразование Фурье. Общий принцип оконного преобразования Фурье заключается в том, что полный временной интервал сигнала разделяется на подинтервалы – временные окна, и преобразование проводится последовательно для каждого окна в отдельности. Тем самым осуществляется переход к частотно-временному (частотно-координатному) представлению сигналов и в какой-то мере позволяет выделять на координатной оси и анализировать особенности нестационарных сигналов. Оконное преобразование выполняется в соответствии с выражением:

$$S(\omega, b_k) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)w(t - b_k)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

Функция  $w(t - b_k)$  представляет собой функцию окна сдвига преобразования по координате  $t$ , где параметром  $b$  задаются фиксированные значения сдвига. Оконное преобразование Фурье состоит в умножении исследуемого сигнала  $s(t)$  на функцию окна  $w(t - b_k)$ , сосредоточенную вокруг  $t = b_k$ , и вычислении коэффициентов Фурье произведения  $s(t)w(t - b_k)$ . Эти коэффициенты определяют спектр функции  $s(t)$  в окрестности  $t = b_k$ .

Обозначим  $w_{\omega, b}(t) = w(t - b_k)e^{i\omega t}$

Тогда оконное преобразование Фурье можно переписать в форме:

$$\underline{S}(\omega, b_k) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)w_{\omega, b}(t)dt. \quad (2)$$

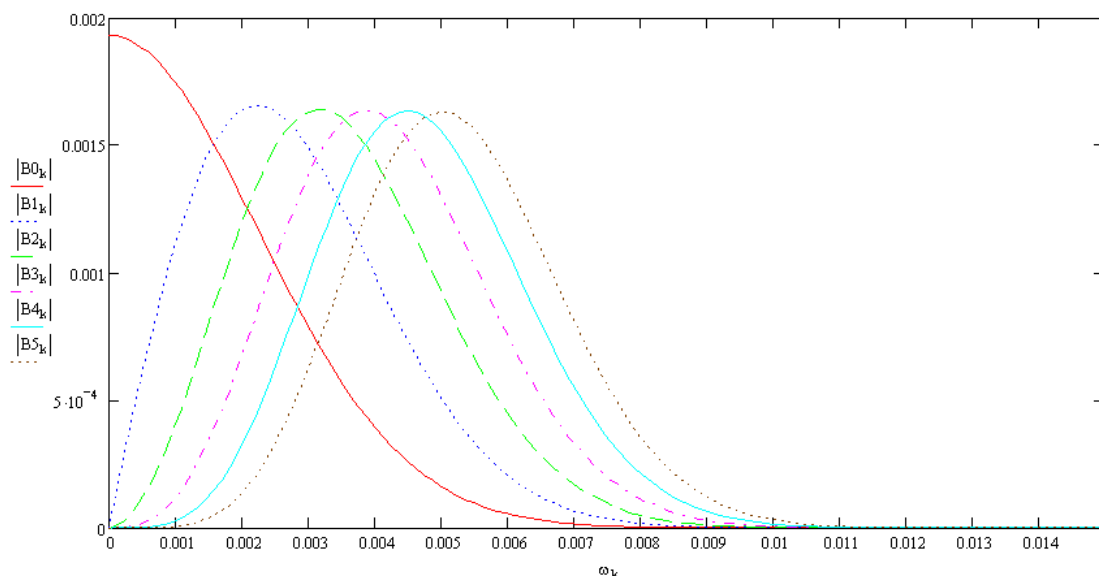
Из такой записи видно, что фактически оконное преобразование Фурье представляет собой корреляционную функцию исследуемого сигнала с сигналом  $w_{\omega, b}(t)$ . Сигнал  $w_{\omega, b}(t)$ , в свою очередь, представляет собой произведение гармонического сигнала с частотой  $\omega$  и огибающей  $w(t)$ .

В качестве окна преобразования может использоваться как простейшее прямоугольное окно, так и специальные весовые окна. В нашем случае целесообразно

использование окна в виде гауссовской функции, т.к. принимаемые радиолокационной станцией импульсы повторяют по форме производные моноимпульса Гаусса. В этом случае, оконное преобразование Фурье становится преобразованием Габора [4,5].

Для каждого положения окна на временной оси сигнала вычисляется свой комплексный спектр. Решение об обнаружении сигнала принимается по спектру сигнала с учетом предполагаемой центральной частоты принимаемого сигнала.

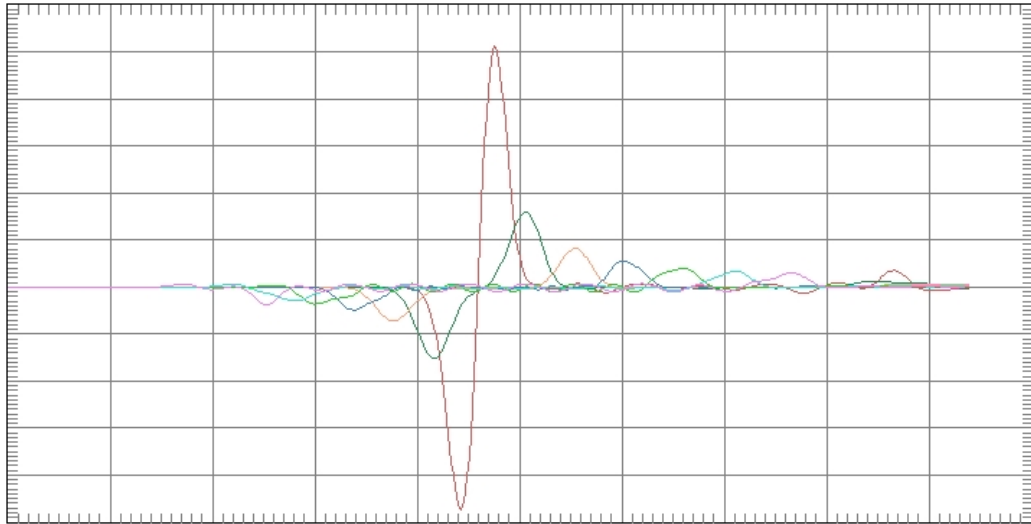
При переотражении импульса плоской электромагнитной волны происходит последующее дифференцирование электромагнитного импульса поля плоской волны. [6] В частотной области операция дифференцирования выражается как умножение спектра сигнала на  $j\omega$ . Таким образом, центральная частота сигнала от производной к производной увеличивается, что и подтверждает рис.1.



**Рис.1. Производные моноимпульса Гаусса.**

Из рис.1 видно увеличение центральной частоты сигнала при его дифференцировании. Центральная частота увеличивается с каждым дифференцированием не менее чем на 10% от ширины спектра, измеренной по уровню -10 дБ.

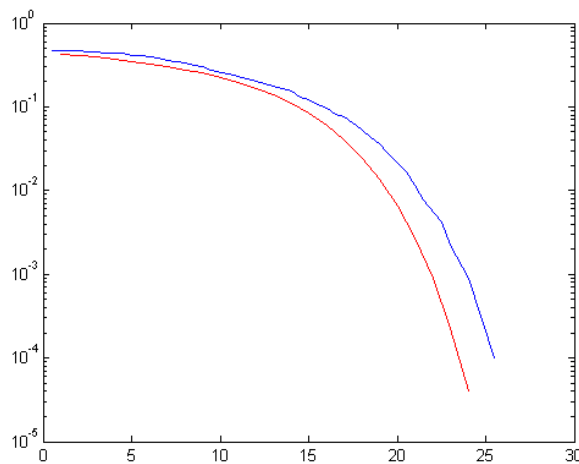
Отраженный от цели сигнал попадает на ту же самую или иную антенну или антенную решетку. Так же как и при излучении, сигнал с главного направления суммируется на антенне когерентно, приходя одновременно на все элементарные излучатели Гюйгенса, а вот сигналы с остальных направлений запаздывают друг относительно друга и формируют сигнал аналогичный рис. 2



**Рис. 2. Сигналы, принятые антенной с главного и неглавных направлений.**

Таким образом, эти детерминированные изменения формы импульса на разных этапах зондирования дают нам возможность отфильтровывать сигналы с неглавного направления.

Проведем сравнение эффективности методов фильтрации сигналов при помощи согласованной фильтрации и оконного преобразования Фурье.

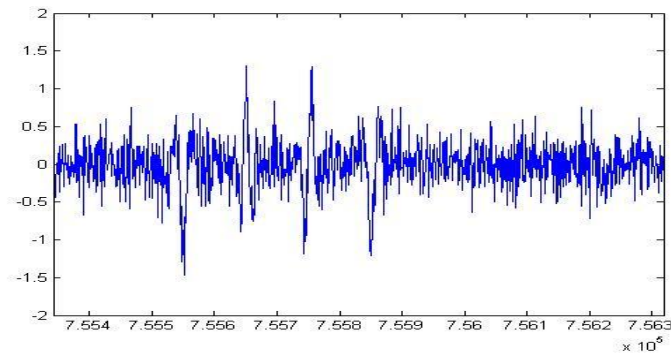


**Рис.3. Вероятность перепутывания 2-х сигналов.**

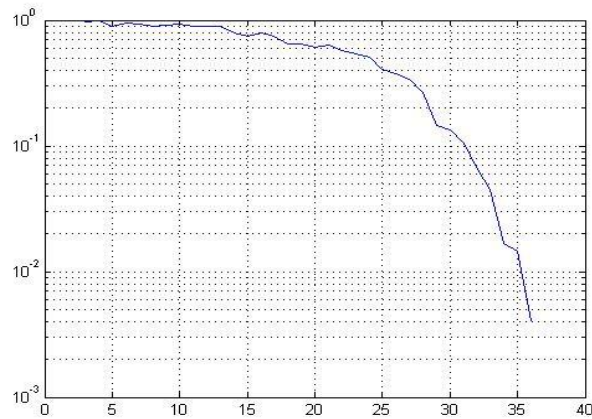
Мы провели расчеты, результатами которых стали графики вероятностей перепутывания для исследуемых типов фильтрации. Зависимость вероятности перепутывания 2-х сигналов при их приеме с помощью согласованной фильтрации от отношения сигнал/шум приводится во многих учебных пособиях и монографиях. [7] Следует сделать вывод, что вероятность ошибки в случае фильтрации Габора лишь на 3дБ проигрывает согласованной фильтрации. Данные результаты можно обосновать тем, что фильтрация Габора схожа с согласованной, но в ней применяется функция Габора, а не согласование с самим принимаемым известным сигналом.

Рассмотрим случай обнаружения СШП сигналов на фоне импульсных помех. Для этого на вход обнаружителя подадим сформированный сигнал, состоящий из последовательности СКИ, напоминающих по форме отраженный от цели импульс, и последовательности СКИ, частоты которых отличается от искомым импульсов.

Добавим к полученной последовательности белый гауссовский шум и посмотрим зависимость вероятности появления ошибки от отношения С/Ш.



**Рис.4. Последовательность, подаваемая на вход обнаружителя (С/Ш = 24дБ)**



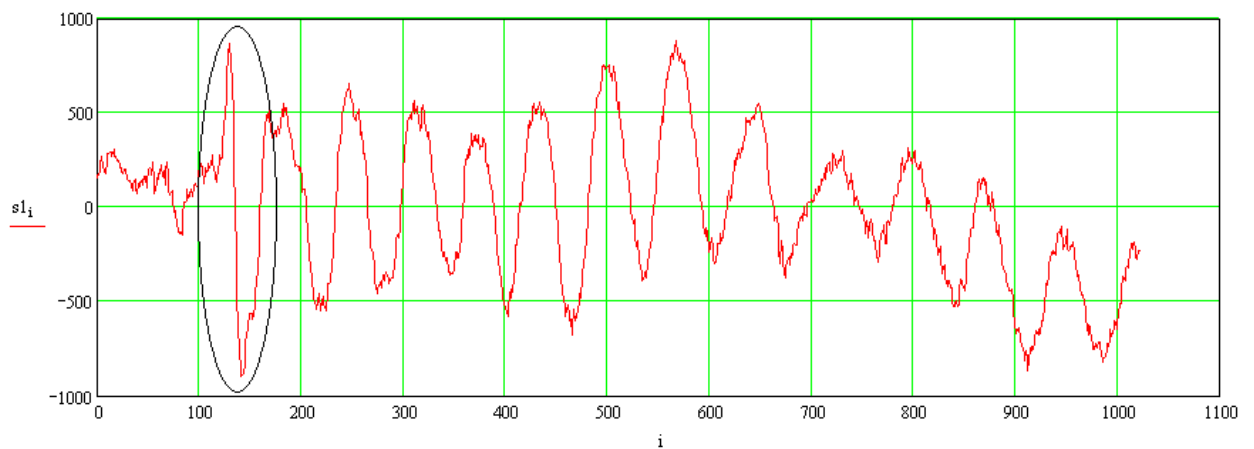
**Рис.5. Зависимость вероятности появления ошибки в обнаружении СКИ импульса, отраженного от цели при воздействии импульсных помех и белого шума от С/Ш белого шума**

Мы можем убедиться, что обнаружитель, построенный по методу оконного преобразования Фурье, достаточно уверенно справляется с импульсными помехами.

В качестве одного из примеров рассмотрим приемопередачу импульсного сигнала антеннами линейной поляризации (рис. 6). В этом случае передающая антенна питалась импульсом генератора «Плазматрон», с выхода приемной антенны снимался следующая временная последовательность (рис. 7).



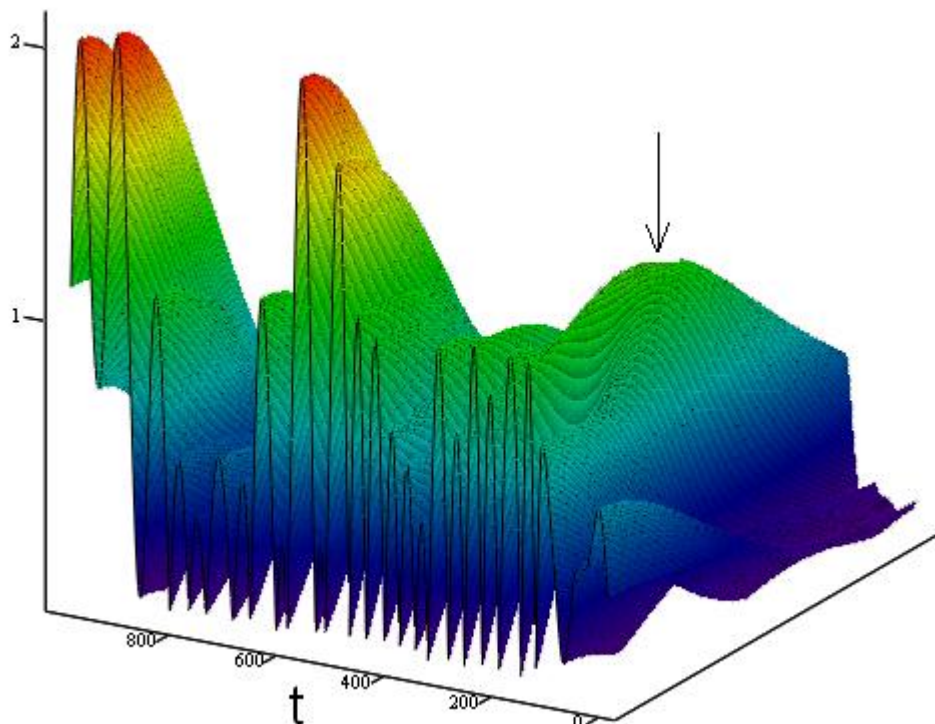
**Рис.6. Исследование приемопередачи импульсного сигнала антеннами линейной поляризации**



**Рис.7. Временная последовательность с выхода приемной антенны**

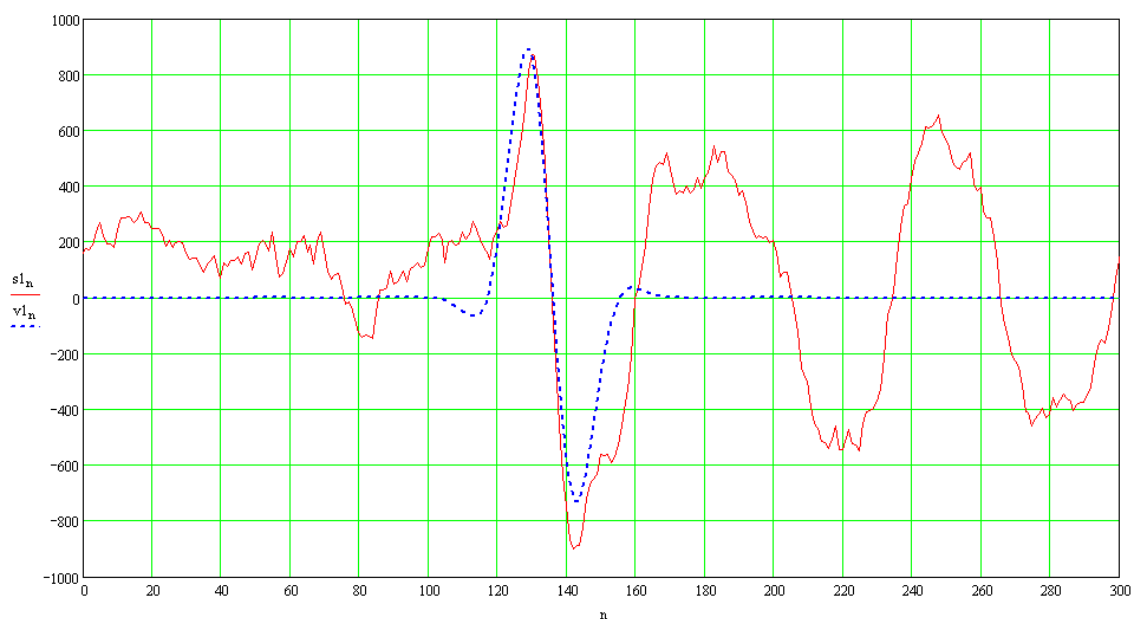
При этом сам импульс расположен в начале последовательности, а синусоида, берущая начало от импульса возникает в следствии переотражений от корпусов измерительного оборудования вблизи антенны. Такой случай можно рассматривать как прием сигнала в условиях воздействия узкополосной помехи и шума.

Если к последовательности рис. 7 применить преобразование Габора, то ее частотно-временной спектр будет выглядеть следующим образом (рис. 8)



**Рис. 8. Частотно-временной спектр исследуемой последовательности**

Как видно, в спектр присутствует достаточно много составляющих сдвинутых по времени, однако, лишь у одной составляющей (помечена стрелкой) наблюдается максимум на ненулевой частоте. Воспользовавшись принципом «оконной полосовой фильтрации» оставим в сигнале лишь эту составляющую, отбросив все остальные. Вычислив центральную частоту спектра и фазу на этой частоте, можно сформировать функцию Габора, сдвинутую на нужное время. Эта функция Габора и будет результатом фильтрации анализируемого временного отрезка (рис. 9)



**Рис. 9. Результат фильтрации анализируемого временного отрезка**

Заключение:

Экспериментальное исследование процесса дифференцирования зондирующих импульсов показывает увеличение центральной частоты исследуемого сигнала при каждом последующем дифференцировании как минимум на 10% от ширины спектра импульса.

Преобразование Габора эффективно борется с импульсными помехами, т.е. удачно отфильтровывает импульсы, центральные частоты которых не попадают в заданный диапазон принятия решений, который, в свою очередь, зависит от центральной частоты и ширины спектра излученного импульса.

Следовательно, преобразование Габора подходит для фильтрации импульсов, претерпевших более одного переотражения (отраженных не только от цели, но и от подстилающей поверхности), а так же импульсов, пришедших с неосновного направления.

На основании приведенных рассуждений можно сделать вывод о перспективности использования преобразования Габора для анализа сверхширокополосных импульсных сигналов в задачах радиолокации.

### Литература

1. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений. Астанин, Костылев
2. Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А. - М.: Радиотехника, 2005. – 704с.
3. Сверхширокополосные сигналы и физические понятия. Основные понятия, модели и методы описания. Лазоренко, Черногор.
4. Фильтрация изображения взволнованной морской поверхности посредством функции Габора А.Б. Буслаев Радиотехника, 2007, №5, с. 97-100
5. А.С. Бугаев, И.А. Васильев, С.И. Иванов, В.В. Чапурский Методы выделения полезных сигналов в биорадиолокационных системах Сверхширокополосные сигналы в радиолокационных и акустических системах: конспекты лекций / Науч. совет по распространению радиоволн; Муром. ин-т Влад. гос. ун-та. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2006. СС 64-95
6. Переотражение сверхкоротких импульсов на элементарных радиолокационных отражателях. Головачев М.В., Кочетов А.В., Миронов О.С.
7. Б. Скляр. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Вильямс, М., СПб, Киев, 2003.