СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ФАЗОКОДОМАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

A METOD FOR REDUCING THE LEVEL OF SIDE LOBES OF THE AUTOCORRELATION FUNCTION OF A PHASE-SHIFT KEYED SIGNAL



УДК 002

Шишкин Алексей Викторович, студент-магистр, 2 курс, факультет «Институт радиотехники, электроники и связи», Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Россия, г. Санкт-Петербург

Shishkin Alexey Viktorovich

Аннотация

В данной статье рассматривается способ уменьшения уровня боковых лепестков автокорреляционной функции фазокодоманипулированного сигнала, который модулируется кодовой последовательностью Баркера. Таким способом является синтез подоптимального фильтра сжатия сигнала. В статье дается краткая характеристика проблемы разрешения сигналов от протяженных целей, описываются проблемы, возникающие при использовании согласованного фильтра при разрешении сигнала от протяженной цели, поясняется актуальность замены в линейной части приемника согласованного фильтра на фильтр другого вида – фильтр сжатия, приводятся сравнительные результаты моделирования и краткая характеристика согласованного фильтра и фильтра сжатия.

Annotation

This article discusses a method for reducing the level of the side lobes of the autocorrelation function of a phase-shift keyed signal, which is modulated by a Barker code sequence. This way is the synthesis of a suboptimal signal compression filter. The

article gives a brief description of the problem of resolving signals from extended targets, describes the problems that arise when using a matched filter when resolving a signal from an extended target, explains the relevance of replacing a matched filter in the linear part of the receiver with a filter of another type - a compression filter, provides comparative simulation results and a brief characteristic of matched filter and compression filter.

Ключевые слова: фазокодоманипулированный сигнал, фильтр сжатия, разрешение сигналов, боковой лепесток АКФ, сжатие сигнала, протяженная цель.

Keywords: phase-shift keyed signal, compression filter, signal resolution, lateral lobe ACF, signal compression, extended target.

Сначала своего развития главной задачей радиолокации было обнаружение одиночной, точечной цели. Но с течением времени по мере развития радиолокации стало понятно, что обнаруживаемая цель является не только точечной. Искомая цель часто представляет собой целый набор отражающих элементов и таким образом принимает вид сложной или протяженной цели.

На протяжении всего этапа развития радиолокации конструкторы радиолокационных станций стараются улучшить их характеристики: повысить эффективную дальность работы РЛС, увеличить их разрешающую способность. Однако на этом пути всегда встречается противоречивая ситуация. Для увеличения эффективной дальности работы РЛС проще всего увеличить мощность зондирующего сигнала или его длительность. На практике этот способ встречает ограничения. Мощность РЛС ограничивается техническими возможностями генератора радиочастоты и прочностью электрических фидерных линий, которые соединяют генератор и антенну станции. Если в РЛС используются фазированная антенная решетка (ФАР), то ограничением пиковой мощности является мощность модулей антенны. Из этого следует, что для увеличения эффективной дальности работы РЛС нужно увеличивать длительность сигнала.

Но простые сигналы большой длительности не могут обеспечить необходимое разрешение по дальности.

Решением сложившейся противоречивой ситуации является применение в РЛС сигнала, который обладает широким спектром и большой длительностью. Такие сигналы называются сложными, они энергоемкие и имеют большую базу (B >> 1). Также сигналы этого типа являются сверхширокополосными.

К сложным сигналам относится не один сигнал. В данной статье будет рассмотрен один из видов сложных сигналов – сигнал с фазокодовой манипуляцией: фазокодоманипулированный сигнал, модулированный последовательностью Баркера. Применение в системе такого сигнала позволяет максимально улучшить соотношение сигнал/шум.

Отраженный от цели сигнал в виде коротких импульсов во время обработки в приемнике РЛС сжимается, т. е. сворачивается в короткие импульсы. Сжатие сигнала улучшает разрешение сигналов по времени. Количество раз, в которое увеличивается это разрешение, численно равно базе сигнала. Главная задача этой операции – выявить информационный сигнал на фоне принятой смеси разных сигналов и шумов. Эта операция выполняется в согласованном фильтре. Длительность сжатого фазокодоманипулированного сигнала определяется шириной его главного пика. За пределами этого пика существуют боковые лепестки или побочные максимумы. Уровень этих боковых лепестков в лучшем случае только на 22 дБ ниже уровня главного лепестка.

Использование в РЛС согласованного фильтра является оптимальным в том случае, когда искомая цель является точечной. В случае сложной, протяженной цели, такой фильтр уже не является оптимальным. Часто складывается такая ситуация, что на выходе согласованного фильтра главный пик сигнала от слабого источника попадает в область боковых лепестков более мощного сигнала. Боковые лепестки более мощного сигнала станут помехой, которая замаскирует слабый информационный сигнал. В ситуации, если такие источники излучения находятся близко друг к другу, их сложно разрешить по времени даже с помощью обычного релеевского разрешения. Может произойти потеря информационного

сигнала на фоне мешающего сигнала. Также боковые лепестки сигнала могут исказить радиолокационное изображение в целом. Поэтому понижение уровня боковых лепестков выходного сигнала является очень важной задачей для радиолокации.

Для того, чтобы противодействовать рассмотренному явлению, в линейной части приемного устройства вместо обычного согласованного фильтра устанавливается фильтр другого типа – фильтр сжатия сигнала. Новый фильтр сжатия должен иметь такой же вид сигнала на своем выходе, что и согласованный фильтр, то есть высокий главный пик, который окружен боковыми лепестками минимального уровня. Также новый фильтр сжатия должен максимально сохранять положительные качества согласованного фильтра. Фильтр сжатия незначительно уступает согласованному фильтру в отношении сигнал/шум, но оказывается более эффективным в подавлении уровня боковых лепестков.

Фильтр сжатия имеет следующие основные отличия от согласованного фильтра.

Согласованный фильтр:

– фильтр имеет конечную импульсную характеристику (КИХ-фильтр), основная задача фильтра – максимизация отношения сигнал/шум;

– импульсная характеристика согласованного фильтра является зеркальным отражением входного сигнала, с которым согласован фильтр;

– длина импульсной характеристики фильтра равна длине входного сигнала;

– согласованный фильтр является частью оптимального приемника для обнаружения точечной цели.

Фильтр сжатия:

– фильтр имеет конечную импульсную характеристику (КИХ-фильтр);

– импульсная характеристика фильтра сжатия длиннее сигнала;

– для синтеза импульсной характеристики фильтра сжатия применяются методы оптимизации с расчетом на минимальный уровень бокового

лепестка при фиксированном уровне потерь в отношении сигнал/шум в сравнении с согласованным фильтром;

– фильтр сжатия является частью подоптимального приемника для обнаружения сложной, групповой цели.

Рассматриваемый фильтр сжатия создается во временной области по критерию минимума уровня максимального бокового лепестка.

Этот критерий представим в виде:

$$\Phi(h) = \frac{N^2}{(g_0^T Sh)^2} \max_{n:n\neq n_{\max}} |Sh|^2 \qquad (1)$$

где: N – длина входной кодовой последовательности, g – вектор отсчетов выходного сигнала, S – ленточная матрица размером (M+N-1)*M, M – количество отсчетов импульсной характеристики фильтра, h – импульсная характеристика фильтра, $|.|^2$ – оператор поэлементного вычисления квадрата модуля вектора.

Эта функция качества (1) имеет нелинейную зависимость от вектора отсчетов импульсной характеристики h.

На рисунках 1 и 2 представлены сигналы, которые получаются на выходе согласованного фильтра (синий график) и фильтра сжатия (красный график).

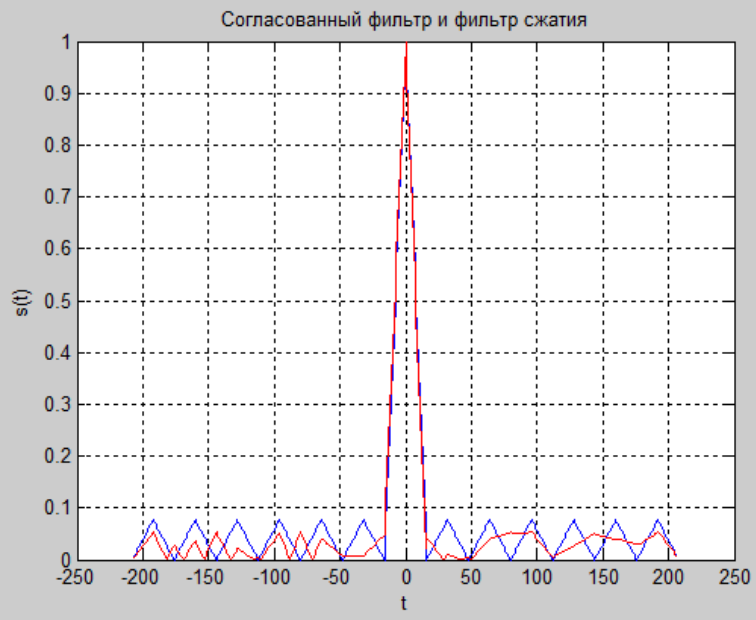

Рисунок 1 – Сигналы на выходе согласованного фильтра и фильтра сжатия

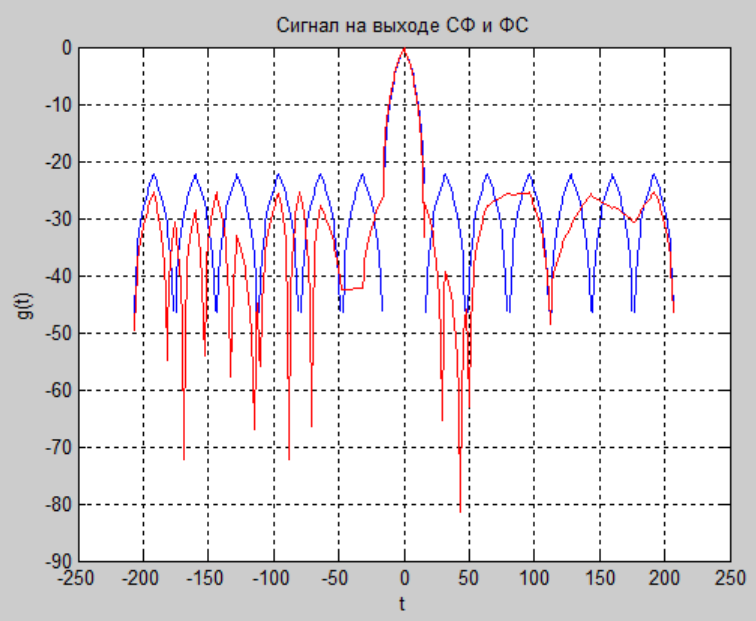

Рисунок 2 – Сигналы на выходе согласованного фильтра и фильтра сжатия, дБ

Как видно из рисунков, уровень боковых лепестков фильтра оказывается ниже уровня боковых лепестков согласованного фильтра.

Сравнение основных характеристик согласованного фильтра и фильтра сжатия представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры СФ и ФС

Тип фильтра	Уровень максимального бокового лепестка	Средний уровень боковых лепестков
Согласованный фильтр	-22,28	-22,28
Фильтр сжатия	-25,52	-30,02

Таким образом, на практике показано, что фильтр сжатия действительно превосходит согласованный фильтр по минимизации уровня боковых лепестков. Использование такого фильтра сжатия улучшает технические характеристики радиолокационных систем.

Литература

1. Бабур, Г. П. Адаптивные алгоритмы снижения уровня боковых лепестков отклика на выходе фильтра сжатия ФКМ радиолокационных сигналов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / Г. П. Бабур. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2006. – 24 с.
2. Монаков, А. А. Радиолокация протяженных целей: измерение дальности, разрешение и синтез сигналов [Текст] / А. А. Монаков, Т. П. Мишура. – СПб.: СПб ГУАП, 2012. – 138 с.
3. Тарасенко, А. М. Методика цифрового формирования сложных сигналов для улучшения характеристик радиотехнических средств: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / А. М. Тарасенко. – М.: Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», 2019. – 131 с.
4. Хелпикс.Орг – Интернет помощник [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://helpiks.org Вход свободный. Язык русский.
5. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст] / И. С. Гоноровский. – М.: Радио и связь, 1986. – 514 с.
6. Основы радиолокации [Электронный ресурс] / Режим доступа: https:// www.radartutorial.eu Вход свободный. Язык русский, английский.

Literature

1. Babur, GP Adaptive algorithms for reducing the level of side lobes of the response at the output of the compression filter of the FCM of radar signals: abstract of the thesis for the degree of candidate of technical sciences [Text] / GP Babur. - Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 2006. - 24 p.
2. Monakov, A. A. Radar of extended targets: measuring range, resolution and synthesis of signals [Text] / A. A. Monakov, T. P. Mishura. - SPb .: SPb GUAP, 2012 .-- 138 p.
3. Tarasenko, AM Technique of digital formation of complex signals to improve the characteristics of radio equipment: a thesis for the degree of candidate of technical sciences [Text] / AM Tarasenko. - M .: National Research University "Moscow Institute of Electronic Technology", 2019. - 131 p.
4. Helpiks.Org - Internet assistant [Electronic resource] / Access mode: https://helpiks.org Free admission. Russian language.
5. Gonorovsky, I. S. Radio circuits and signals [Text] /I. S. Gonorovsky. - M .: Radio and communication, 1986 .-- 514 p.
6. Basics of radar [Electronic resource] / Access mode: https: // www.radartutorial.eu Free admission. Language Russian, English.