



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01S 13/32 (2020.02); G01S 13/325 (2020.02); G01S 7/41 (2020.02); G01S 7/412 (2020.02); G01R 23/16 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019128630, 11.09.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.09.2019

Дата регистрации:
04.09.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.09.2019

(45) Опубликовано: 04.09.2020 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

140180, Московская обл., г. Жуковский,
Гагарина, 3, Акционерное общество "Научно-
исследовательский институт приборостроения
имени В.В. Тихомирова"

(72) Автор(ы):

Бабокин Михаил Иванович (RU),
Горбай Александр Романович (RU),
Толстов Евгений Федорович (RU),
Леонов Юрий Иванович (RU),
Пастухов Андрей Викторович (RU),
Степин Виталий Григорьевич (RU),
Лавренюк Дмитрий Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество
"Научно-исследовательский институт
приборостроения имени В.В. Тихомирова"
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2212683 C2, 20.09.2003. RU
2371736 C2, 27.10.2009. RU 2402038 C2,
20.10.2010. RU 2696022 C1, 30.07.2019. RU
2636058 C1, 20.11.2017. RU 2282209 C1,
20.08.2006. CN 108549832 A, 18.09.2018. WO
2015052713 A1, 16.04.2015. CN 103698757 A,
02.04.2014. DE 102017101763 A1, 02.08.2018. WO
2018130324 A1, 19.07.2018. PENG BO, WEI
XIZHANG, DENG BIN, CHEN (см. прод.)

(54) Способ обработки радиолокационного сигнала с фазовой модуляцией

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано при сигнальной обработке принятых радиолокационных сигналов. Способ основан на том, что излучают модулированный по фазе зондирующий сигнал, принимают отраженный сигнал, при этом сигнал, модулирующий зондирующий сигнал, а также принятый отраженный сигнал преобразуют в комплексные сигналы, затем осуществляют формирование их спектров быстрым преобразованием Фурье. Далее определяют модуль спектра комплексного модулирующего зондирующий сигнал сигнала, нормируют спектр

комплексного принятого сигнала на квадрат модуля спектра комплексного модулирующего зондирующий сигнал сигнала по формуле

$$\dot{S}_{НОРМ}(\omega) = \frac{\dot{S}_{ПР}(\omega)}{|\dot{S}_{МОД}(\omega)|^2}, \text{ где } \dot{S}_{ПР}(\omega)$$

- спектр комплексного принятого сигнала,

$\dot{S}_{МОД}(\omega)$ - спектр комплексного

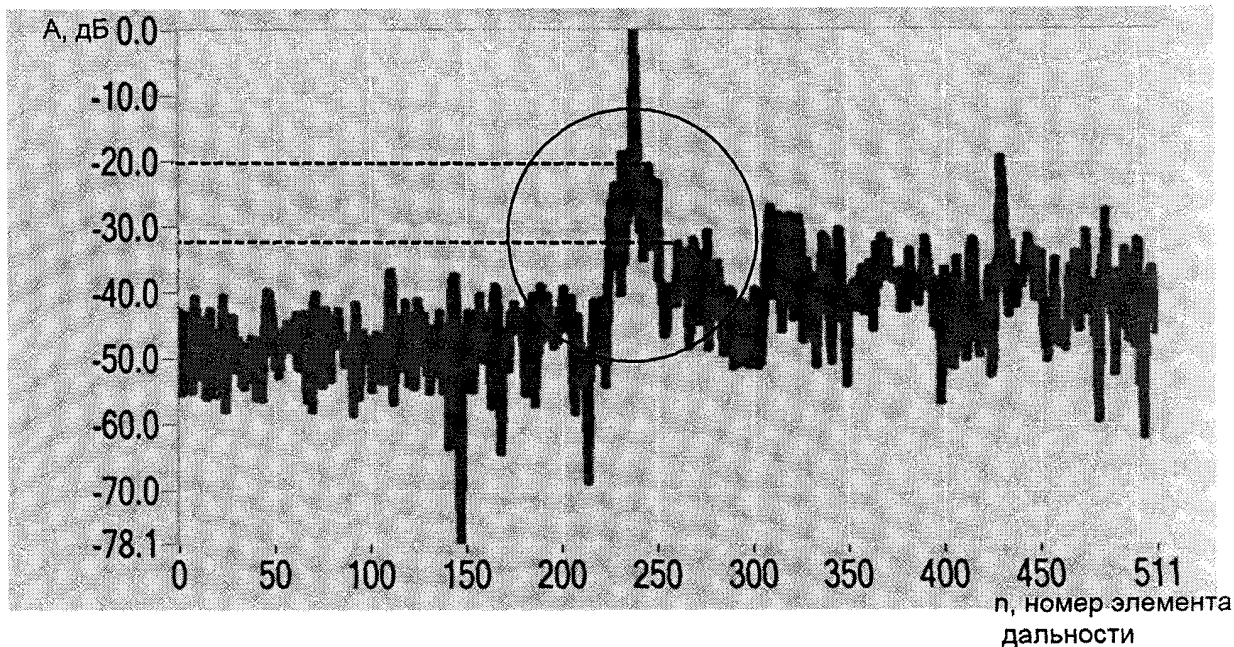
модулирующего сигнала, $\dot{S}_{НОРМ}(\omega)$ -

нормированный спектр, преобразуют

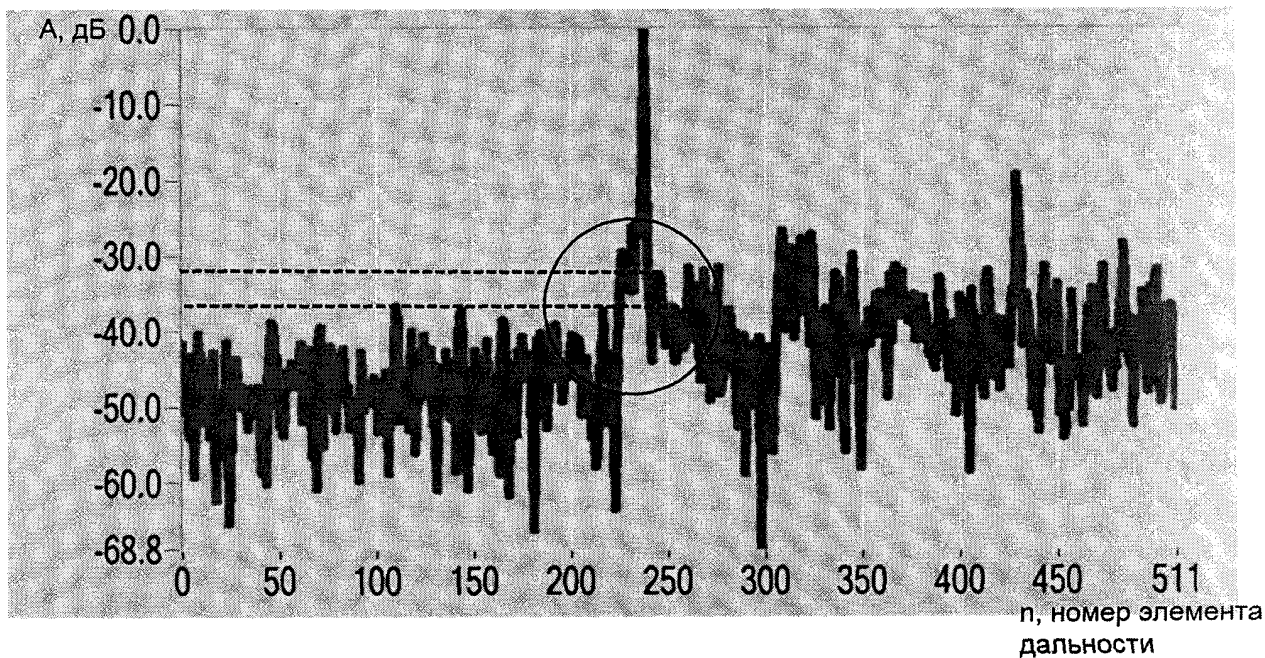
нормированный спектр полученного сигнала во временную область и осуществляют его сжатие. При осуществлении заявляемого способа достигается технический результат, заключающийся в повышении вероятности обнаружения и снижении уровня ложных тревог при обнаружении сигналов в соседних элементах

(стробах) дальности за счет уменьшения уровня боковых лепестков сжатого сигнала. Технической проблемой, решаемой предлагаемым изобретением, является повышение достоверности обнаружения сигналов в соседних элементах (стробах) дальности. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

Без обработки сигнала



С обработкой сигнала



Фиг. 2

(56) (продолжение):

HAOWEN, LIU ZHEN, LI XIANG. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 09.2014, Vol. 63, Issue 9, cc.2188-2199. WEBB G.W., MININ I.V., MININ O.V. International Journal of High Speed Electronics & Systems, 06.2007, Vol. 17, Issue 2, cc.367-382.

R U 2 7 3 1 5 4 6 C 1

R U 2 7 3 1 5 4 6 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01S 13/32 (2006.01)
G01S 7/41 (2006.01)
G01R 23/16 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

G01S 13/32 (2020.02); *G01S 13/325* (2020.02); *G01S 7/41* (2020.02); *G01S 7/412* (2020.02); *G01R 23/16* (2020.02)

(21)(22) Application: **2019128630, 11.09.2019**

(24) Effective date for property rights:
11.09.2019

Registration date:
04.09.2020

Priority:

(22) Date of filing: **11.09.2019**

(45) Date of publication: **04.09.2020 Bull. № 25**

Mail address:

**140180, Moskovskaya obl., g. Zhukovskij,
Gagarina, 3, Aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-
issledovatel'skij institut priborostroeniya imeni V.V.
Tikhomirova"**

(72) Inventor(s):

**Babokin Mikhail Ivanovich (RU),
Gorbaj Aleksandr Romanovich (RU),
Tolstov Evgenij Fedorovich (RU),
Leonov Yuriy Ivanovich (RU),
Pastukhov Andrej Viktorovich (RU),
Stepin Vitalij Grigorevich (RU),
Lavrenyuk Dmitrij Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoe obshchestvo
"Nauchno-issledovatel'skij institut
priborostroeniya imeni V.V. Tikhomirova" (RU)**

(54) METHOD OF PROCESSING RADAR SIGNAL WITH PHASE MODULATION

(57) Abstract:

FIELD: radio equipment.

SUBSTANCE: invention relates to radio engineering and can be used in signal processing of received radar signals. Method is based on emitting a phase-modulated probing signal, receiving a reflected signal, wherein the signal which modulates the probing signal, as well as the received reflected signal, is converted into complex signals, then their spectra are formed by fast Fourier transformation. Further, spectrum modulus of complex modulating signal probing signal is determined, spectrum of complex received signal per square of modulus of complex modulating spectrum probing signal of signal by formula

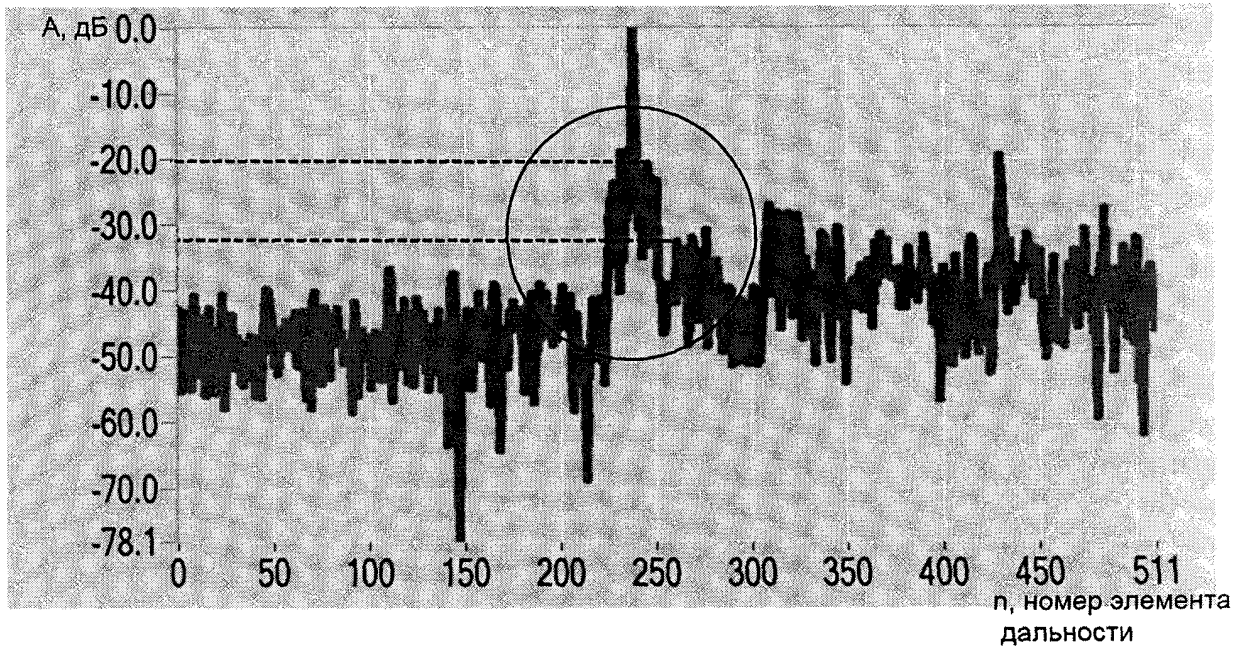
$$\dot{S}_{\text{norm}}(\omega) = \frac{\dot{S}_{\text{rec}}(\omega)}{|\dot{S}_{\text{mod}}(\omega)|^2}, \text{ where } \dot{S}_{\text{np}}(\omega)$$

- spectrum of complex received signal, $\dot{S}_{\text{mod}}$ - spectrum of complex modulating signal, $\dot{S}_{\text{norm}}$ is a normalized spectrum, the normalized spectrum of the received signal is converted to a time domain and its compression is performed. In implementing the claimed method, technical result is achieved, which consists in improvement of probability of detection and reducing the level of false alarms when detecting signals in adjacent range elements (strobe) by reducing the level of side lobes of the compressed signal.

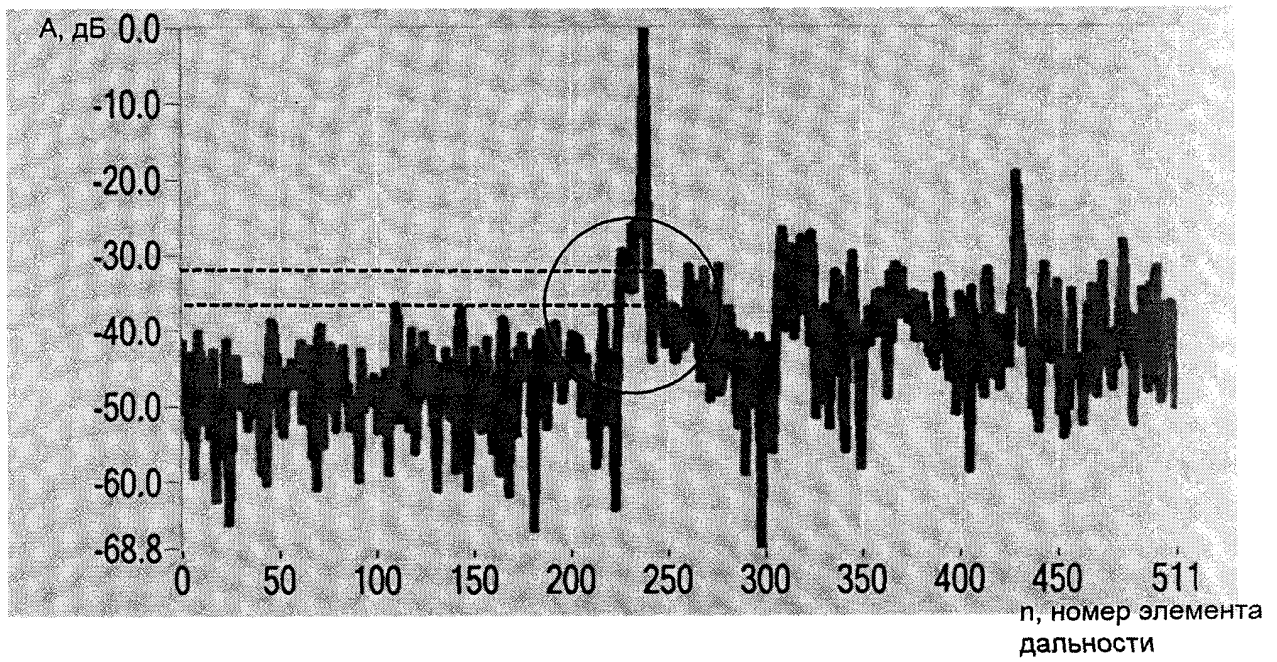
EFFECT: technical problem solved by the proposed invention is high reliability of detecting signals in adjacent elements (strobe) range.

1 cl, 2 dwg

Без обработки сигнала



С обработкой сигнала



Фиг. 2

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано при обработке принятых радиолокационных сигналов.

Одной из проблем использования сигналов с фазовой модуляцией в радиотехнике является наличие у сжатого сигнала боковых лепестков достаточно большого уровня. Одним из наиболее распространенных способов подавления боковых лепестков является применение различных весовых функций. При перемножении используемой весовой функции и спектра сигнала происходит сглаживание его переднего и заднего фронтов, за счет чего можно добиться значительного подавления боковых лепестков. Однако такое подавление боковых лепестков приводит к потере в энергетике и разрешающей способности, так как приводит к расширению главного лепестка сжатого сигнала (его автокорреляционной функции).

Известен «Способ подавления боковых лепестков автокорреляционной функции широкополосного сигнала» [RU 2335782 опубликовано 10.10.2008, МПК G01S 7/36]. Способ основан на том, что излучают импульсные фазокодированные сигналы с изменением кода фазовой манипуляции от периода к периоду повторения зондирующих импульсов, принимают отраженные сигналы и осуществляют их обработку. В каждом периоде зондирования излучают один из двух согласованных друг с другом фазокодированных сигналов, у которых амплитуды боковых лепестков автокорреляционных функций равны по модулю, но имеют противоположные знаки, а основные пики автокорреляционных функций равны. При приеме отраженных сигналов производят их сжатие отдельно для каждого периода повторения зондирующих импульсов, суммируют результаты сжатия отраженных сигналов с задержкой первого результата относительно второго на период зондирования, в соответствии с временным положением согласованных друг с другом фазокодированных сигналов.

Недостатком указанного способа является ограниченное количество заранее подобранных согласованных парных сигналов и сложная сигнальная обработка парных сигналов.

Известен «Способ подавления боковых лепестков автокорреляционных функций шумоподобных сигналов» [RU 2549163 опубликовано 20.04.2015, МПК H03H 17/06], в котором осуществляют согласованную фильтрацию соответствующего сигнала и формируют его автокорреляционную функцию (АКФ), представляющую собой выходной сигнал согласованного фильтра. Далее реализуют итерационную процедуру, заключающуюся в том, что на первом итерационном шаге по исходной АКФ определяют моменты времени и амплитуды наиболее интенсивных ее боковых лепестков, на основе чего формируют соответствующую временную весовую функцию, на которую умножают исходную АКФ и вычисляют частотный спектр полученного сигнала (взвешенной АКФ), который затем делят на квадрат модуля частотного спектра входного сигнала. По полученной частотной характеристике, ограниченной исходной полосой частот, синтезируют соответствующий корректирующий фильтр, который соединяют последовательно с исходным согласованным фильтром. Если при этом амплитуды отдельных боковых лепестков превысят заданный уровень, то осуществляют следующий итерационный шаг в соответствии с описанными операциями, результатом которого является синтез нового физически реализуемого корректирующего фильтра, при этом в качестве АКФ, подлежащей взвешиванию, используют выходной сигнал на предыдущем итерационном шаге.

Недостатками указанного способа являются сложность его реализации, неопределенное количество итераций для его осуществления, а так же расширение главного лепестка автокорреляционной функции, вызванное обработкой сигнала во

временной области.

Известен «Способ уменьшения уровня боковых лепестков сжатого ЛЧМ-сигнала» [RU 2447455 опубликовано 10.04.2012, МПК G01S 13/02], основанный на амплитудно-частотной коррекции амплитудного спектра сигнала и его сжатии в устройстве сжатия.

5 Амплитудно-частотную коррекцию амплитудного спектра принимаемого ЛЧМ-сигнала осуществляют по закону, являющемуся отношением модуля комплексного спектра основного лепестка автокорреляционной функции исходного ЛЧМ-сигнала к модулю комплексного спектра исходного ЛЧМ-сигнала. После коррекции амплитудного спектра, перед сжатием осуществляют фазочастотную коррекцию фазового спектра в
10 соответствии с законом, являющимся результатом деления аргумента отношения комплексного спектра основного лепестка автокорреляционной функции исходного ЛЧМ-сигнала к комплексному спектру исходного ЛЧМ-сигнала на фазочастотную характеристику устройства сжатия.

Недостатками указанного способа является низкий уровень подавления боковых
15 лепестков и невозможность применения этого способа в отношении фазоманипулированных сигналов.

Известен «Способ разрешения целей по дальности импульсной радиолокационной станцией» [RU 2296345 опубликовано 27.03.2007, МПК G01S 13/08], заключающийся в том, что передающая антенна станции излучает сложные зондирующие сигналы с
20 внутриимпульсной частотной модуляцией или фазовой манипуляцией, генерируемые передатчиком, приемная антенна станции принимает отраженные сигналы, в приемном тракте на каждом периоде повторения импульсов производится фильтрация принятых сигналов в согласованном фильтре, согласованном с зондирующим сигналом. На каждом периоде повторения импульсов дополнительно к согласованной фильтрации
25 после сжатия импульса производится восстановление сигнала восстанавливающим фильтром. В обнаружителе принимается решение об обнаружении сигналов и в вычислителе производится определение дальности до цели. Восстанавливающим фильтром является фильтр Винера.

Недостатками указанного способа является низкая достоверность обнаружения
30 сигналов в соседних элементах разрешения по дальности из-за недостаточного подавления боковых лепестков сжатого сигнала, а также расширение его главного лепестка, за счет обработки сигнала во временной области, что приводит к ухудшению разрешающей способности по дальности.

Технической проблемой решаемой предлагаемым изобретением является повышение
35 достоверности обнаружения сигналов в соседних элементах (стробах) дальности.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является повышение вероятности обнаружения и снижение уровня ложных тревог при обнаружении сигналов в соседних элементах (стробах) дальности за счет уменьшения уровня боковых лепестков сжатого сигнала.

40 Сущность изобретения заключается в том, что излучают модулированный по фазе зондирующий сигнал, принимают отраженный сигнал.

Новым является то, что сигнал, модулирующий зондирующий сигнал, а также принятый отраженный сигнал преобразуют в комплексные сигналы, осуществляют формирование их спектров быстрым преобразованием Фурье. Далее определяют модуль
45 спектра комплексного модулирующего зондирующий сигнал сигнала, нормируют спектр комплексного принятого сигнала на квадрат модуля спектра комплексного модулирующего зондирующий сигнал сигнала по формуле

$$\dot{S}_{НОРМ}(\omega) = \dot{S}_{ПР}(\omega) / |\dot{S}_{МОД}(\omega)|^2, \text{ где } \dot{S}_{ПР}(\omega) - \text{спектр комплексного принятого сигнала,}$$

5 $\dot{S}_{МОД}(\omega)$ - спектр комплексного модулирующего сигнала, $\dot{S}_{НОРМ}(\omega)$ - нормированный спектр. Затем преобразуют нормированный спектр полученного сигнала во временную область обратным быстрым преобразованием Фурье и осуществляют его сжатие. Преобразование сигнала, модулирующего зондирующий сигнал, а также принятого отраженного сигнала в комплексные сигналы осуществляют квадратурной
10 демодуляцией.

На Фиг. 1 представлена функциональная схема радиолокационной станции, осуществляющей способ.

15 На Фиг. 2 представлены графики сжатого сигнала с обработкой по заявляемому способу и без обработки.

Способ обработки радиолокационного сигнала с фазовой модуляцией может быть реализован, например, в радиолокационной станции, состоящей из антенны (1), передатчика (2), приемника (3) с квадратурным демодулятором, процессора управления (4), процессора сигналов (5), задающего генератора (6) с квадратурным демодулятором, модулятора (7). Первый выход процессора управления (4) соединен с первым входом антенны (1), выход передатчика (2) соединен со вторым входом антенны (1). Выход антенны (1) соединен с входом приемника (3). Первый выход приемника (3) подключен к первому входу процессора сигналов (5), второй выход приемника (3) подключен ко второму входу процессора сигналов (5). Выход процессора сигналов (5) является
20 внешним выходом радиолокационной станции. Второй выход процессора управления (4) соединен с третьим входом процессора сигналов (5). Третий выход процессора управления (4) соединен с входом задающего генератора (6). Первый выход задающего генератора (6) соединен с входом модулятора (7), второй выход задающего генератора (6) соединен с четвертым входом процессора сигналов (5), третий выход задающего генератора (6) соединен с пятым входом процессора сигналов (5), выход модулятора (7) подключен к входу передатчика (2).
30

Способ обработки радиолокационного сигнала с фазовой модуляцией осуществляется следующим образом.

35 В процессе работы радиолокационной станции процессор управления (4) задает параметры управления антенне (1) для просмотра соответствующей зоны обзора, и выдает команду задающему генератору (6) с типом модулирующего сигнала, например кодом Баркера-13. Задающий генератор (6) со своего первого выхода подает на вход модулятора (7) модулирующий сигнал. В модуляторе (7) происходит фазовая модуляция зондирующего сигнала кодом Баркера-13 и далее модулированный по фазе зондирующий сигнал усиливается в передатчике (2) и излучается антенной (1).
40

Отраженный сигнал принимается антенной (1). С выхода антенны (1) принятый сигнал поступает на вход приемника (3), в котором осуществляется аналоговая обработка сигнала, преобразование сигнала в комплексный сигнал квадратурной демодуляцией. Далее реальную (синфазную) и мнимую (квадратурную) составляющие комплексного сигнала стробируют по дальности и осуществляют их аналого-цифровое преобразование.
45

Далее квадратуры $\text{Re}_{ПР}(t)$, $\text{Im}_{ПР}(t)$ комплексного сигнала $\dot{S}_{ПР}(t) = \text{Re}_{ПР}(t) + j\text{Im}_{ПР}(t)$ в цифровом виде поступают на первый и второй входы процессора сигналов (5). В

процессоре сигналов (5) принятый комплексный сигнал $\dot{S}_{пр}(t)$ подвергают быстрому преобразованию Фурье для его преобразования в частотную область. Модулирующий сигнал так же в комплексном цифровом виде (в виде двух квадратур $Re_{мод}(t)$, $Im_{мод}(t)$) поступает на четвертый и пятый входы процессора сигналов (5) со второго и третьего выходов задающего генератора (6). В процессоре сигналов (5) его подвергают быстрому преобразованию Фурье.

$$\dot{S}_{пр}(\omega) = БПФ(\dot{S}_{пр}(t)) = БПФ(Re_{пр}(t), Im_{пр}(t)),$$

$$\dot{S}_{мод}(\omega) = БПФ(\dot{S}_{мод}(t)) = БПФ(Re_{мод}(t), Im_{мод}(t)).$$

Далее в процессоре сигналов (5) осуществляют нормировку спектра принятого сигнала к квадрату модуля спектра модулирующего сигнала:

$$\dot{S}_{норм}(\omega) = \dot{S}_{пр}(\omega) / |\dot{S}_{мод}(\omega)|^2 = \dot{S}_{пр}(\omega) / (Re_{мод}^2(\omega) + Im_{мод}^2(\omega)).$$

Затем полученный нормированный сигнал преобразуют из частотной области во временную область обратным быстрым преобразованием Фурье.

$$\dot{S}_{норм}(t) = ОБПФ(\dot{S}_{норм}(\omega)) = ОБПФ(Re_{норм}(\omega), Im_{норм}(\omega)).$$

Полученный отнормированный сигнал $\dot{S}_{норм}(t)$ подвергают сжатию, например корреляционной обработке или согласованной фильтрации, описанными в источнике [Многофункциональные радиолокационные системы / под ред. Б.Г. Татарского, М.: «Дрофа», 2007 г., стр. 41-68]. По сжатому сигналу осуществляют обнаружение полезного сигнала и выдачу информации в систему индикации из процессора сигналов (5).

На Фиг. 2 представлены графики сжатого реального сигнала, отраженного от объекта на земной поверхности без описанной обработки и с обработкой сигнала. Сигнал модулирован по фазе 13-ти позиционным кодом Баркера и изображен в виде 512-ти элементов (стробов) дальности. Без предлагаемой обработки за счет боковых лепестков уровень сигнала в соседних с центральным лепестком элементах дальности (обведена кругом), принятым за максимальный уровень, составляет -20÷-32 дБ. При подавлении боковых лепестков заявляемым способом уровень сигнала в соседних центральным лепестком элементах дальности составляет -32÷-38 дБ. Таким образом, в соседних элементах дальности обнаружены слабые сигналы с уровнем на 12 дБ меньшим, чем боковые лепестки. Так же по графикам на фигуре 2 можно видеть, что заявляемая обработка не приводит к расширению центрального лепестка сигнала.

Таким образом, проведенная обработка позволяет выровнять спектр принятого сигнала, таким образом, что при последующем сжатии этого сигнала уровень боковых лепестков значительно снижается без расширения центрального лепестка, что позволяет обнаруживать сигналы в соседних каналах дальности с высокой вероятностью обнаружения и низким уровнем ложных тревог.

(57) Формула изобретения

1. Способ обработки радиолокационного сигнала с фазовой модуляцией, заключающийся в том, что излучают модулированный по фазе зондирующий сигнал, принимают отраженный сигнал, отличающийся тем, что сигнал, модулирующий зондирующий сигнал, а также принятый отраженный сигнал преобразуют в комплексные

сигналы, осуществляют формирование их спектров быстрым преобразованием Фурье, определяют модуль спектра комплексного модулирующего зондирующий сигнал сигнала, нормируют спектр комплексного принятого сигнала на квадрат модуля спектра комплексного модулирующего зондирующий сигнал сигнала по формуле

$$\dot{S}_{\text{НОРМ}}(\omega) = \frac{\dot{S}_{\text{ПР}}(\omega)}{|\dot{S}_{\text{МОД}}(\omega)|^2}, \text{ где } \dot{S}_{\text{ПР}}(\omega) - \text{спектр комплексного принятого сигнала,}$$

$\dot{S}_{\text{МОД}}(\omega)$ - спектр комплексного модулирующего сигнала, $\dot{S}_{\text{НОРМ}}(\omega)$ - нормированный спектр, преобразуют нормированный спектр полученного сигнала во временную область обратным быстрым преобразованием Фурье и осуществляют его сжатие.

2. Способ обработки радиолокационного сигнала с фазовой модуляцией по п. 1, отличающийся тем, что преобразование сигнала, модулирующего зондирующий сигнал, а также принятого отраженного сигнала в комплексные сигналы осуществляют квадратурной демодуляцией.

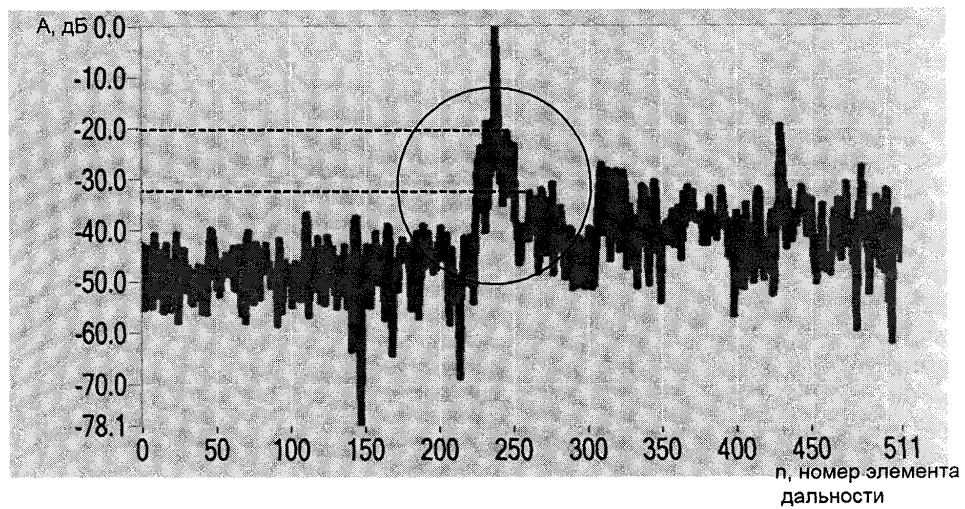
1



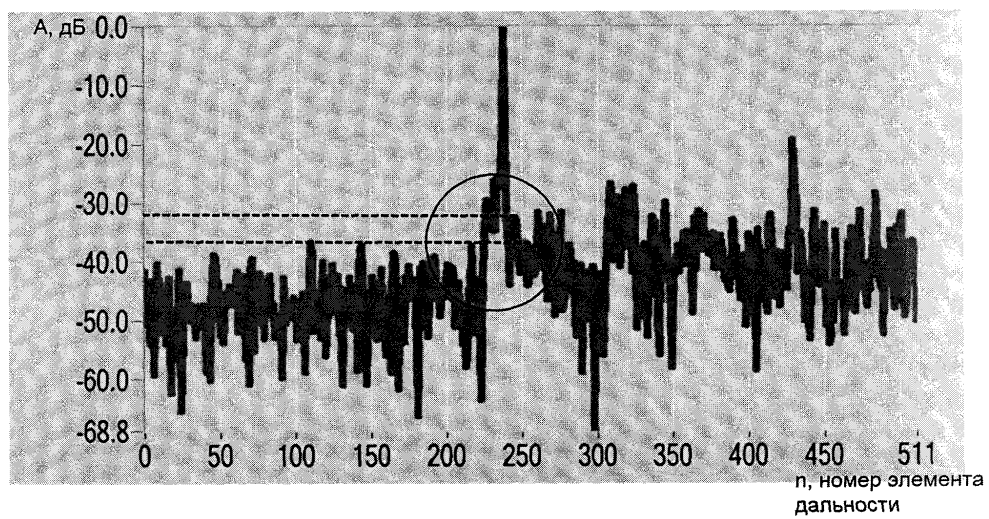
Фиг. 1

2

Без обработки сигнала



С обработкой сигнала



Фиг. 2