



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2009119707/28, 25.05.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.05.2009

(45) Опубликовано: 20.06.2010 Бюл. № 17

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2080619 C1, 27.05.1997. RU 2038607 C1,  
27.06.1995. RU 2307375 C1, 27.09.2007. RU  
2013786 C1, 30.05.1994. US 6856280 B1,  
15.02.2005.

Адрес для переписки:

111024, Москва, ул. Авиамоторная, 57,  
научно-техническое управление ОАО  
"МНИИРЭ "Альтаир"

(72) Автор(ы):

Бугаец Илья Игоревич (RU),  
Бабкин Юрий Михайлович (RU)

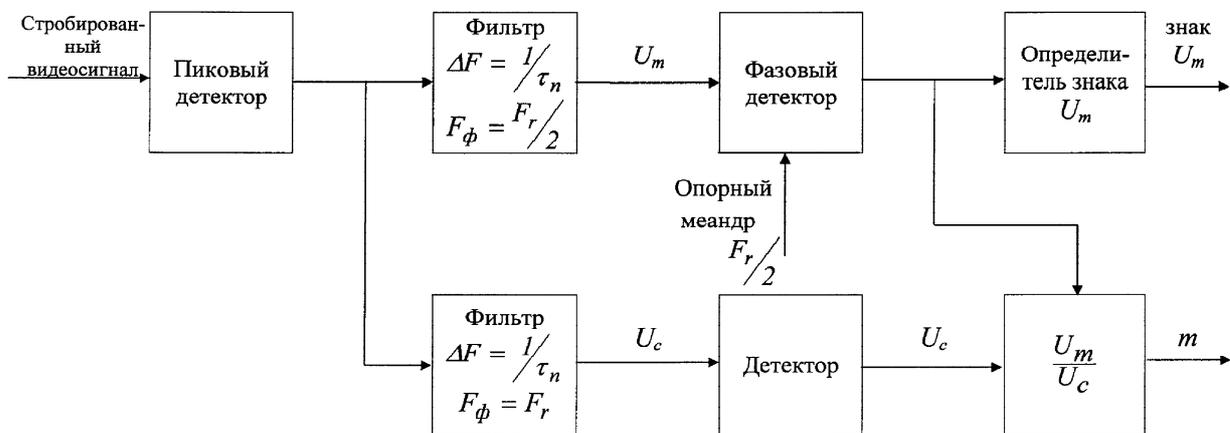
(73) Патентообладатель(и):

Открытое акционерное общество "Морской  
научно-исследовательский институт  
радиоэлектроники "Альтаир" (ОАО  
"МНИИРЭ "Альтаир") (RU)(54) СПОСОБ ВЫСОКОТОЧНОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА МЕСТА  
НИЗКОЛЕТАЮЩЕЙ ЦЕЛИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ СИГНАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способам радиолокационного измерения угла места низколетающей над морем цели в условиях интерференции отраженных сигналов. Техническим результатом изобретения является повышение точности измерений. Способ основан на сканировании цели интерференционными лепестками путем

вобуляции несущей излучаемого сигнала от импульса к импульсу. При этом измеряют коэффициент модуляции амплитуды и знак фазы модуляции принимаемого сигнала, а также отношение сигнал/шум и определяют по коэффициенту модуляции угол места интерференционного лепестка, а по знаку фазы модуляции и отношению сигнал/шум - положение цели в нем. 1 ил.





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*G01S 13/00* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2009119707/28, 25.05.2009**  
 (24) Effective date for property rights:  
**25.05.2009**  
 (45) Date of publication: **20.06.2010 Bull. 17**  
 Mail address:  
**111024, Moskva, ul. Aviamotornaja, 57, nauchno-  
 tekhnicheskoe upravlenie OAO "MNIIEh  
 "Al'tair"**

(72) Inventor(s):  
**Bugaets Il'ja Igorevich (RU),  
 Babkin Jurij Mikhajlovich (RU)**  
 (73) Proprietor(s):  
**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Morskoj  
 nauchno-issledovatel'skij institut  
 radioelektroniki "Al'tair" (OAO "MNIIEh  
 "Al'tair") (RU)**

(54) **METHOD FOR HIGH-PRECISION RADIOLOCATION MEASUREMENT OF LIFT ANGLE OF LOW FLYING TARGET UNDER SIGNAL INTERFERENCE CONDITIONS**

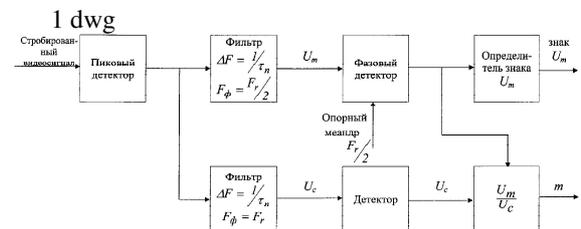
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: invention relates to methods for radiolocation measurement of the lift angle of a low flying target under signal interference conditions. The method is based on scanning the target with interference lobes by way of wobble of the carrier of the signal under study from one pulse to another. One measures the amplitude modulation factor and the modulation phase sign of the signal received as well as the signal/noise ratio and defines the

interference lobe lift angle (by the modulation factor) and the position of the target therein by the modulation phase sign and the signal/noise ratio.

EFFECT: improved precision of measurement.



RU 2 3 9 2 6 3 8 C 1

RU 2 3 9 2 6 3 8 C 1

## Область техники

Изобретение относится к области радарных систем для определения местоположения цели, а точнее, к способам радиолокационного измерения угла места низколетящей цели в условиях интерференции сигналов над отражающей  
5 подстилающей поверхностью (морем).

## Уровень техники

В настоящее время известно множество методов, позволяющих измерять высоту низколетящей цели (НЛЦ), таких как внеосевое моноимпульсное сопровождение,  
10 использование симметричных суммарно-разностных и асимметричных диаграмм направленности, метод комплексных углов, метод нелинейной логической фильтрации, метод максимального правдоподобия. Однако точное измерение высоты или угла места (УМ) низколетящей цели в условиях интерференции сигналов традиционными методами в силу разных причин проблематично, либо, как в случае  
15 методов суммарно-разностных диаграмм, из-за того, что в этих условиях пеленгационная характеристика разрушается, либо из-за трудно реализуемости и больших аппаратных затрат, необходимых для применения метода максимального правдоподобия. Когда цель летит ниже определенного уровня, так что угловое  
20 разделение между отраженными от цели и переотраженными от водной поверхности сигналами меньше, чем 0,8 ширины луча антенны, обычные методы моноимпульса дают большие ошибки сопровождения.

Аналогом настоящего изобретения является метод, описанный (Lo T., Litva J. Low-angle tracking using multifrequency sampled aperture radar. - IEEE Trans. on Aerospace and  
25 Electronic Systems, 1991, v.27, №5, p.797-805). Метод основан на использовании локатора системы SAMPAR и усовершенствованного алгоритма нахождения максимума функции правдоподобия, в котором используется высокоточная модель сигнала. Метод обеспечивает многократное увеличение разрешающей способности  
30 сигнала, которое превышает любой способ, опубликованный в открытой литературе. Как и другие типы радиолокационных систем, система SAMPAR состоит из передающей части и принимающей части. Первая используется, чтобы облучить заданное локатору пространство радиочастотной энергией, тогда как последняя  
35 используется, чтобы получить и обработать отраженные радиолокационные сигналы, чтобы извлечь необходимую информацию. Ключевой характеристикой алгоритма оценки высоты цели является использование информации о дальности цели. Для этого необходимо, чтобы радар работал в режиме определения дальности цели. Данный алгоритм основывается на концепции зеркального отражения. Метод может не  
40 работать, когда водная поверхность становится неровной. Когда метод не работает, тогда необходимо возвращаться к методу моноимпульса. В результате проведенных экспериментов, когда система работала на двух X-диапазонах частот одновременно: один из частотных каналов работал на фиксированной частоте 10,2 ГГц, другой быстро переключался в диапазоне от 8 до 12 ГГц с шагом 30 МГц, была показана  
45 возможность различать сигналы, которые разделяются на одну десятую ширины луча.

Система SAMPAR выбрана прототипом предлагаемого изобретения потому, что решение проблемы измерения малых углов места низколетящих над морем целей в предлагаемом изобретении основано, так же как и в системе SAMPAR, на быстрой  
50 перестройке несущей частоты сигнала.

Для решения этой проблемы система SAMPAR излучает и принимает сигнал в очень широкой полосе перестройки несущей частоты: 10 ГГц  $\pm$ 20%. Она работает с сигналом с однозначной дальностью, информация о которой является ключевой для алгоритма

оценки высоты цели. Этот сигнал характерен тем, что имеет малую длительность и большую скважность и потому требует высокой импульсной мощности передатчика для обеспечения потенциала, необходимого для обнаружения и сопровождения малоразмерных НЛЦ. При скважности 50-100 она должна быть не менее 50-100 кВт. 5  
Такую мощность может иметь только передатчик на лампе бегущей волны, полоса частот которой менее  $\pm 3\%$ . Следовательно, надо иметь не менее 6-ти передатчиков. Масса каждого с системой охлаждения составляет несколько сотен килограммов. Это очень громоздко, дорого и трудно реализуемо.

10 Сущность изобретения

Предлагаемый способ основан на сканировании цели интерференционными лепестками путем возбуждения несущей излучаемого сигнала от импульса к импульсу.

Ширина лепестка и угол его наклона относительно горизонта пропорциональны длине волны  $\lambda$  (Теоретические основы радиолокации. Под редакцией Дулевича В.Е. 15  
М., Советское радио, 1978 г.):

$$\delta\theta = \frac{\lambda}{2h_a},$$

где  $h_a$  - высота антенны.

20 Если изменять  $\lambda$  в излучаемом сигнале от импульса к импульсу, то интерференционные лепестки диаграммы направленности будут сканировать цель по УМ с частотой, равной половине частоты повторения  $F_r$ .

При увеличении  $\lambda$  лепесток расширяется и поднимается над радиогоризонтом, а при 25  
уменьшении - сужается и опускается. При этом по коэффициенту модуляции амплитуды отраженного сигнала можно определить угол места интерференционного лепестка, а по знаку фазы модуляции и отношению сигнал/шум уточнить положение цели в нем.

30 Коэффициент модуляции амплитуды пропорционален порядковому номеру лепестка: скажем, для 10-го лепестка он будет в 10 раз больше, чем для 1-го. Таким образом, величина коэффициента модуляции несет информацию об УМ: он пропорционален измеряемому УМ цели. Угол места максимума  $n$ -го интерференционного лепестка относительно направления на горизонт равен 35  
(Теоретические основы радиолокации. Под редакцией Дулевича В.Е. М., Советское радио, 1978 г.):

$$УМ_n = n\delta\theta + nm_f\delta\theta - \delta\theta/2$$

где  $n=1, 2, 3, \dots$  - порядковый номер лепестка;

$\delta\theta = \lambda/(2h)$  - ширина лепестка;

40  $m_f$  - коэффициент возбуждения несущей.

В результате сканирования сигнал, отраженный от цели, находящийся на «склоне» лепестка, будет промодулирован по амплитуде с коэффициентом модуляции

$$m_{an} = nm_{a1}$$

45 где  $m_{a1}$  - коэффициент модуляции сигнала в первом лепестке, соответствующий  $m_f$ .

Отсюда

$$n = \frac{m_{an}}{m_{a1}}$$

50 Измеряя коэффициент модуляции сигнала  $m_{an}$ , можно определить номер лепестка  $n$ .

Фаза модуляции амплитуды сигнала в результате сканирования будет меняться на противоположную в зависимости от того, на каком «склоне» лепестка находится цель: если фаза положительна, цель находится на верхнем «склоне» лепестка, она окажется отрицательной, когда цель находится на нижнем «склоне».

Распознавание положения цели в лепестке увеличивает точность интерферометрического способа измерения в 2 раза: максимальная ошибка оценки УМ в этом случае не превосходит  $\delta\theta/4$  и дает полное представление о направлении движения цели по УМ.

5 Данное изобретение направлено на получение высокой точности измерения УМ без применения для этой цели дополнительной аппаратуры и при очень простом алгоритме обработки принимаемого сигнала. Этот технический результат достигается тем, что при использовании в качестве критерия оценки УМ цели коэффициента модуляции амплитуды сигнала не возникает проблемы неоднозначности измерений при интерференции сигналов, напротив, интерференция используется как положительный фактор, способствующий повышению точности измерений.

10 Схема обработки сигнала, несущего информацию о знаке фазы модулированного сигнала и коэффициенте модуляции, приведена на чертеже.

15 Амплитуда модуляции сигнала равна

$$U_m = m_a U_c,$$

где  $m_a$  - коэффициент модуляции амплитуды сигналов;

$U_c$  - амплитуда импульса сигнала.

20 Выражая амплитуду  $U_c$  на выходе приемного устройства через отношение сигнал/шум ( $S/N$ ) и учитывая, что это отношение в свободном пространстве, равное 18 дБ, в условиях интерференции сигналов для той же дальности будет на 12 дБ выше и составит 30 дБ, получаем

$$25 \frac{U_c}{\sigma_{\text{ш}}} = \sqrt{\frac{S}{N}} \approx 32 \quad ; \quad \frac{U_m}{\sigma_{\text{ш}}} = \frac{U_c}{\sigma_{\text{ш}}} m_a = 32 m_a \quad ,$$

где  $\sigma_{\text{ш}}$  - эффективное напряжение шума.

Производная вблизи середины первого интерференционного лепестка показывает, что при  $m_f=3\%$   $m_a=5\%$ , для которого  $U_{m1}/\sigma_{\text{ш}}=1,6$ .

30 Вероятность того, что  $U_{m1}$  не меньше  $1,6 \sigma_{\text{ш}}$ , равна  $\rho_1=0,89$ .

Для второго лепестка, в котором коэффициент модуляции в 2 раза выше,  $m_a2 \approx 10\%$ , отношение  $U_{m2}/\sigma_{\text{ш}}=3,2$  и вероятность  $\rho_2$  близка к 1.

35 Таким образом, предложенный способ распознавания «склона» лепестка работоспособен даже при небольшом  $m_f$ .

Пример определения УМ цели по результатам измерений при  $\delta\theta=\lambda/2h_a=1$  мрад для  $\lambda=3$  см и  $h_a=15$  м приведен в таблице 1.

40

Таблица 1

№ п/п	Результат измерений	Угол места цели
1	- $S/N > 20$ дБ; - $m_a \approx 5\%$ ; - знак $U_m$ «-»	Цель вблизи середины нижнего «склона» 1-го лепестка, УМ $\approx 0,25$ мрад
2	- $S/N > 20$ дБ; - $m_a \approx 5\%$ ; - знак $U_m$ «+»	Цель вблизи середины верхнего «склона» 1-го лепестка, УМ $\approx 0,75$ мрад
3	- $S/N > 20$ дБ; - $m_a \approx 5\%$ ; - знак $U_m$ «-»	Цель вблизи середины нижнего «склона» 10-го лепестка, УМ $\approx 9,25$ мрад

45

50

Предлагаемый способ обеспечивает на порядок более высокую точность определения УМ НЛЦ, чем точность измерения УМ в свободном пространстве при отношении сигнал/шум 18 дБ.

На чертеже представлена схема обработки сигнала, несущего информацию о знаке фазы модулированного сигнала и коэффициенте модуляции.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

5 Предлагаемое изобретение может быть внедрено в любой радиолокатор, имеющий электронную перестройку несущей частоты в полосе  $\pm 1,5\%$ . Дополнительной аппаратуры для внедрения данного изобретения не требуется. Алгоритм обработки сигнала и определения УМ цели по результатам измерений предельно прост.

10 Технический результат - обеспечение высокой точности измерения угла места низколетящей цели в условиях интерференции сигналов без аппаратных затрат и упрощение алгоритма обработки принимаемого сигнала.

#### Формула изобретения

15 Способ высокоточного радиолокационного измерения угла места низколетящей цели, использующий интерференцию сигналов, отличающийся тем, что осуществляют сканирование цели интерференционными лепестками путем возбуждения несущей излучаемого сигнала от импульса к импульсу, измеряют коэффициент модуляции амплитуды и знак фазы модуляции принимаемого сигнала, а также отношение  
20 сигнал/шум, и определяют по коэффициенту модуляции угол места интерференционного лепестка, а по знаку фазы модуляции и отношению сигнал/шум - положение цели в нем, и получают точное значение угла места цели.

25

30

35

40

45

50