



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 080 619** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) МПК<sup>6</sup> **G 01 S 13/44**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
 ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 94001553/09, 17.01.1994  
 (46) Дата публикации: 27.05.1997  
 (56) Ссылки: IEEE Trans. AES-7,1971-Jan., N 1, p. 160 - 170.

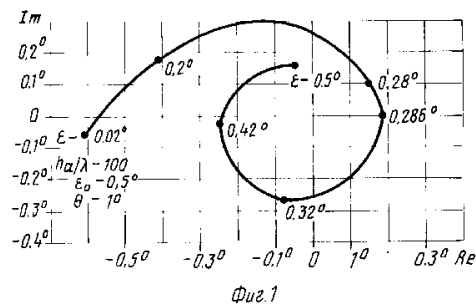
(71) Заявитель:  
 Военная академия противовоздушной обороны  
 сухопутных войск РФ  
 (72) Изобретатель: Ребров А.С.,  
 Гарбуз Г.Г., Вольневич В.В.  
 (73) Патентообладатель:  
 Военная академия противовоздушной обороны  
 сухопутных войск РФ

**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА МЕСТА И ДАЛЬНОСТИ НИЗКОЛЕТАЮЩЕЙ ЦЕЛИ МОНОИМПУЛЬСНЫМ РАДИОЛОКАТОРОМ ПРИ МНОГОЛУЧЕВОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ ОТРАЖЕННОГО ОТ ЦЕЛИ СИГНАЛА**

(57) Реферат:

Использование: для повышения точности определения угла места и дальности сопровождения низколетящей цели. Сущность изобретения заключается в том, что осуществляют комплексный анализ изменения значения угла места цели путем квадратурной обработки отраженного от цели сигнала для выделения нулевого значения мнимой составляющей, определяют отношение  $h_a/\lambda$ , где  $h_a$  - высота центра антенны над подстилающей поверхностью,  $\lambda$  - длина волны радиолокатора, для которых значение мнимой составляющей сигнала равно нулю, определяют угол места цели по формуле:

$\varepsilon = \arcsin 1/\frac{2h_a}{\lambda}$  и с учетом значения угла места цели определяют дальность. 3 ил.



RU 2 080 619 C1

RU 2 080 619 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 080 619** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>6</sup> **G 01 S 13/44**

RUSSIAN AGENCY  
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 94001553/09, 17.01.1994

(46) Date of publication: 27.05.1997

(71) Applicant:  
 Voennaja akademija protivovozdushnoj oborony  
 sukhoputnykh vojsk RF

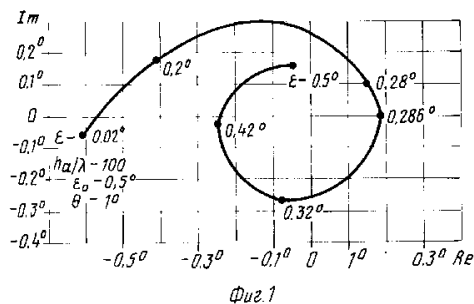
(72) Inventor: Rebrov A.S.,  
 Garbuz G.G., Vol'nevich V.V.

(73) Proprietor:  
 Voennaja akademija protivovozdushnoj oborony  
 sukhoputnykh vojsk RF

(54) METHOD OF DETERMINATION OF ANGLE OF ELEVATION AND RANGE OF LOW FLYING TARGETS BY MONOPULSE RADAR WITH MULTIBEAM PROPAGATION OF SIGNAL REFLECTED FROM TARGET

(57) Abstract:

FIELD: radiolocation. SUBSTANCE: complex analysis of change of angle of elevation of target is accomplished by quadrature processing of signal reflected from target for extraction of zero value of imaginary component. Relation \$\$\$ is found, where \$\$\$ is height of antenna above underlying surface, \$\$\$ is length of wave of radar for which value of imaginary component is equal to zero. Elevation angle is found by formula \$\$\$ and range is determined with due account of angle of elevation. EFFECT: enhanced efficiency of method. 3 dwg



RU 2 080 619 C1

RU 2 080 619 C1

Изобретение относится к маловысотной радиолокации и может быть использован для повышения точности определения угла места и дальности сопровождения низколетящих целей (НЛЦ) в пределах ширины луча при многолучевом распространении отраженного от цели сигнала.

Известен ряд способов, предназначенных для определения угла места НЛЦ, использующих мнимую часть отраженного от цели сигнала (сигнал от антипода).

В [1] описан способ определения угла места цели, основанный на использовании двух антенн в вертикальной плоскости, расположенных на разной высоте. Обе антенны имеют идентичные диаграммы направленности и одинаковую ориентацию по углу места. Сущность способа заключается в том, что расстояние между антеннами в процессе пеленгации НЛЦ регулируются так, чтобы с одной стороны, разность фаз между сигналами от антипода, принимаемых двумя антеннами, равнялась  $\pi$  а с другой разность фаз между сигналами отраженными от цели была отлична от  $\rho$  В зависимости от амплитуды и фазы сигналов (от цели и антипода), принятых антеннами, формируются сигналы управления сдвигом фазы сигнала (от цели и антипода) и разнесением антенн по высоте. Для выработки управляющих сигналов используется мнимая часть отраженного от цели сигнала (сигнал от антипода). Когда сигнал ошибки от цели и управляющий сигнал разнесения антенн одновременно равняются нулю, система отслеживает направление на цель со сравнительно малыми ошибками. Рассмотренный способ, несмотря на высокую точность определения угла места НЛЦ не нашел широкого практического применения, т.к. достаточно сложен в конструктивном отношении.

В предлагаемом способе, так же используется сигнал от антипода, который в дальнейшем может быть использован для управления высотой антенны или длиной волны.

В способе, описанном в работе [1] сигнал от антипода предназначен для управления разнесением антенн по высоте с целью его компенсации. При этом сопровождение и определение угла места НЛЦ осуществляется путем использования сигнала от цели (действительной части отраженного от цели сигнала).

В предлагаемом способе сопровождение и определение угла места НЛЦ основано на использовании сигнала от антипода (мнимой части отраженного от цели сигнала). При этом для реализации способа не требуется сложных конструктивных изменений существующих РЛС.

Наиболее близким к описываемому способу определения угла места НЛЦ является способ комплексной оценки угла, который был разработан С.М.Шерманом и описан в работах [1, 2, 3]

При определении угла места НЛЦ, используя способ комплексной оценки угла, антенная РЛС в процессе сопровождения фиксируется по углу места под углом 0,4-0,7 ширины луча. В угломестном канале РЛС применена квадратурная обработка отраженного от цели сигнала. В результате которой отраженный от цели сигнал

раскладывается на две составляющих, действительную часть Re (сигнал от цели) и мнимую часть Im снимаемых с выхода фазовых детекторов и описываемых зависимостями

$$Re = -\varepsilon_0 + \varepsilon \frac{1 - g \rho^2}{1 + g \rho^2 + 2g\rho \cos\psi} \quad (1)$$

$$Im = -\varepsilon \frac{2g\rho \sin\psi}{1 + g \rho^2 + 2g\rho \cos\psi} \quad (2)$$

где

$$g = \frac{\cos^2(1,14(\varepsilon - \varepsilon_0)/\theta)}{\cos^2(1,14(-\varepsilon - \varepsilon_0)/\theta)}$$

$\varepsilon$  угол места цели;

$\varepsilon_0$  угол наклона равносигнального направления;

$\theta$  ширина луча РЛС;

$\nu$  разность фаз между прямым и отраженным сигналом;

$g$  коэффициент отражения от подстилающей поверхности.

В способе комплексной оценки угла, для определения угла места НЛЦ, используется зависимость изменения мнимой и действительной части отраженного от цели сигнала при изменении угла места цели, график, который представляет спираль (фиг.1.). Калибровочную спираль можно получить расчетным (используя зависимости (1), (2) или экспериментальным путем. При наличии калибровочной спирали определение угла места НЛЦ осуществляется по измеренным значениям действительной и мнимой части, отраженного от цели сигнала, путем нахождения ближайшей точки на калибровочной спирали, которой соответствует определенный угол места цели. Сопоставление точек выполняется визуально или с помощью ЭВМ.

Способ комплексной оценки угла обеспечивает точное определение угла места НЛЦ, когда угол места меньше ширины луча.

В предлагаемом способе также используется квадратурная обработка в угломестном канале РЛС, что позволяет разложить отраженный от цели сигнал на две составляющих действительную и мнимую, описываемых формулами (1) и (2). В процессе сопровождения НЛЦ, в отличие от способа комплексной оценки угла, не используется фиксация антенны по углу места, а для определения угла места НЛЦ используется только мнимая часть отраженного от цели сигнала.

Определение угла места НЛЦ предлагаемым способом осуществляется следующим образом.

Используя мнимую часть отраженного от цели сигнала, добиваются нулевого значения Im, изменяя высоту антенны или длину волны. Информация о высоте антенны и длине волны поступает в ЭВМ, для определения угла места цели расчетным путем.

Способ комплексной оценки угла имеет ряд существенных недостатков, которые ограничили возможность его практической реализации. К таким недостаткам относятся:

необходимость знания и учет характера, и состояния подстилающей поверхности на трассе сопровождения НЛЦ на данный

момент времени, т.к. это существенно влияет на форму спирали.

высокая стабильность фиксации антенны по углу места, т.к. от этого зависит размер спирали.

фиксация антенны по углу места, что приводит к уменьшению дальности сопровождения НЛЦ и разрыву контура сопровождения.

В предлагаемом способе изменение характера и состояния подстилающей поверхности, и их стабильность во времени, пределах условий существования зеркального отражения сигнала от цели, не оказывает существенного влияния на точность определения угла места цели. В связи с отсутствием фиксации антенны по углу места проблемы стабильности фиксации антенны не существует. Так как НЛЦ сопровождается без фиксации антенны по углу места, то это позволяет увеличить дальность сопровождения НЛЦ до дальности прямой видимости и не разрывать контур сопровождения.

Таким образом, в предлагаемом способе устранены основные недостатки способа комплексной оценки угла.

Целью способа является повышение точности определения угла места и дальности сопровождения низколетящих целей в пределах ширины луча в условиях многолучевого распространения сигнала отраженного от цели.

Сущность способа заключается в следующем.

Для определения угла места в процессе сопровождения НЛЦ, без фиксации антенны по углу места, используется квадратурная обработка отраженного от цели сигнала в угломестном канале РЛС. Это позволяет разложить отраженный от цели сигнал на две составляющих: действительную (Re) и мнимую (Im), описываемых формулами (1) и (2). Проведем анализ зависимостей  $Re=f(\epsilon)$  и  $Im=f(\epsilon)$  при изменении угла места цели в пределах ширины луча. Используя формулы (1) и (2) построим графики  $Re=f(\epsilon)$  и  $Im=f(\epsilon)$  для значений  $\rho=1$ ,  $\Phi=\pi$ ,  $\epsilon_0=0,5\theta$ ,  $h_a/\lambda=100$ ,  $\theta=1^\circ$  (фиг.2.).

Анализ графиков изменения Im и Re (фиг.2.) показывает, что отрезок АВ зависимости  $Im=f(\epsilon)$  который соответствует положительным значениям зависимости  $Re=f(\epsilon)$  является нечетной симметричной функцией относительно оси  $\epsilon$  что отвечает требованиям предъявляемым к пеленгационной характеристике.

Следовательно отрезок АВ зависимости  $Im=f(\epsilon)$  может быть использован для определения угла места НЛЦ, если определить закон изменения  $\epsilon$  при Im равной нулю. С этой целью проанализируем зависимость (2) и определим условие, когда Im равно нулю. Из (2) следует, что это условие выполняется при

$$\sin \Phi = 0 \quad (3)$$

Равенство (3) будет выполняться при  $\Phi = \pm n\pi$  где  $n=1, 2, 3$ , в свою очередь  $\nu$  определяется по формуле

$$\Phi = \pi - 4\pi \frac{h_a}{\lambda} \sin \epsilon, \quad (4)$$

тогда записав (4) для первого нуля Im получаем

$$-\pi = \pi - 4\pi \frac{h_a}{\lambda} \sin \epsilon, \quad (5)$$

решив (5) относительно  $\epsilon$  имеем

$$\epsilon = \arcsin \frac{1}{2h_{i1}/\lambda}. \quad (6)$$

Следовательно, угол места цели, которому соответствует первый нуль мнимой цели (Im) отраженного от цели сигнала определяется по формуле (6). Анализ (6) показывает, что угол места цели при Im равной нулю является функцией отношения  $h_a/\lambda$  поэтому изменяя величину отношения  $h_a/\lambda$ , возможно определение угла места цели используя зависимость  $Im=f(\epsilon)$  на отрезке АВ, в пределах существования Im. Результаты исследований приведены в работах [2, 3] показывают, что сигнал от антипода (Im) устойчиво существует, когда угол места цели меньше ширины луча. А данные исследований предлагаемого способа показали, что закон изменения  $Im=f(\epsilon)$  на отрезке АВ не зависит от абсолютного значения ширины луча, угла наклона РСН антенны, а также характера и состояния подстилающей поверхности (если сохраняются условия зеркального отражения сигнала). Значит, используя (6), возможно определение угла места НЛЦ в пределах ширины луча, т.е. если угол места цели изменяется от нуля до ширины луча.

Точность определения угла места НЛЦ будет зависеть от характеристик следящей системы и крутизны графика зависимости  $Im=f(\epsilon)$  на отрезке АВ. Расчеты показали, что крутизна зависимости  $Im=f(\epsilon)$  на отрезке АВ обратнопропорциональна величине угла места цели, так при  $\epsilon=0,0094\theta$  крутизна составляет  $24 Im/\epsilon$  а при  $\epsilon=0,0142\theta-11 Im/\epsilon$ .

Для практической реализации зависимости (6) необходимо знать закон изменения  $\epsilon=f(D)$  при постоянной высоте цели, где D наклонная дальность до цели, с учетом кривизны земной поверхности. Земная поверхность представляет собой сферу, поэтому высота цели над линией горизонта будет меняться по квадратичному закону и определяется по формуле

$$H_{цр} = zD^2 + H_{ц}, \quad (7)$$

где  $H_{ц}$  высота цели над подстилающей поверхностью;

z коэффициент пропорциональности.

Коэффициент z находим из предложения, что  $D=D_{пв}$ , где  $D_{пв}$  - дальность прямой видимости,  $H_{цр}=0$  и решив (7) относительно z получим

$$z = - \frac{H_{ц}}{D_{пв}^2}, \quad (8)$$

где

$$D_{пв} = 3,57 \left( \sqrt{H_{ц}} + \sqrt{h_a} \right), \quad (9)$$

формула (9) записана без учета рефракции.

Использована (7) и (8) зависимость  $\epsilon=f(D)$ , с учетом кривизны земной поверхности будет определяться

$$\varepsilon = \arctg \frac{\left( -\frac{H_c}{D} \right) \sqrt{D^2 + H_c^2}}{D} \quad (10)$$

Для определения дальности которой соответствует угол места цели определяемый по формуле (6) при  $l_m=0$ , необходимо приравнять между собой правые части (6) и (10), а полученное выражение решить относительно  $D$ , выполнив преобразования получим

$$D = \left[ \operatorname{tg}(\arcsin(1/(2h_a/\lambda)) - \sqrt{\operatorname{tg}^2(\arcsin(1/(2h_a/\lambda)) + 4 \frac{H_c^2}{D^2})} \right] / \left[ -2 \frac{H_c}{D} \right] \quad (11)$$

Формула (11) позволяет решить вопрос однозначности в определении угла места цели, т.к. в зависимости от соотношения  $h_a/\lambda$  и величины угла места НЛЦ возможны ложные углы, для которых выполняется условие  $l_m$  равняется нулю.

Таким образом, использование мнимой части отраженного от цели сигнала обеспечивает точное определение угла места и увеличение дальности сопровождения низколетящей цели в пределах ширины луча.

Это достигается за счет:

стабильности параметров квадратурной составляющей, не зависимо от характера и состояния подстилающей поверхности, если выполняются условия зеркального отражения сигнала, отраженного от цели;

не применения фиксации антенны по углу места, что позволяет увеличить дальность сопровождения НЛЦ и осуществлять сопровождение не размыкая контура следящей системы.

На фиг. 1 изображена калибровочная спираль, поясняющая сущность способа комплексной оценки угла; на фиг. 2 графики зависимостей действительной и мнимой частей отраженного от целей сигнала при изменении угла места цели, поясняющие сущность способа; на фиг. 3 функциональная схема, реализующая способ определения угла места НЛЦ в пределах ширины луча.

Способ может быть реализован следующим образом (фиг.3).

Схема содержит блок 1 квадратурной обработки, блок 2 управления высотой антенны или длиной волны РЛС, блок 3 измерения дальности, ЭВМ 4.

Для определения угла места НЛЦ, предлагаемый способ, отраженный от НЛЦ сигналы ( $U_{от}$ ) проходит квадратурную обработку в блоке 1. Мнимая часть отраженного от цели сигнала ( $l_m$ ) поступает в блок управления высотой антенны или длиной волны 2, где происходит изменение

высоты антенны или длины волны РЛС, до тех пор пока  $l_m$  на выходе блока квадратурной обработки не будет равна нулю. Информация о высоте антенны и длине волны поступают в ЭВМ 4, где производится вычисление угла места НЛЦ по формуле (8). Решение вопроса однозначности осуществляется путем сравнения дальности рассчитанной по формуле (13), с дальностью определенной по оценке времени задержки отраженного от цели сигнала ( $D$ ).

Литература

1. Леонов А.И. Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М. Радио и связь, 1984. с.121-124.

2. Экспериментальные результаты испытаний метода комплексного угла прихода при многолучевом распространении радиоволн. Радиолокация, телевидение, радиосвязь, сер. "Р.Т.Р.". Экспресс-информация ВИНТИ, 1975. N 23. с. 1-10.

3. Sherman S.M. Complex indicated angles applied to unresolved radar targets and multipath. IEEE Trans. AES-7, 1971. Jan. N 1. p.160-170.

### Формула изобретения:

Способ определения угла места и дальности низколетящей цели моноимпульсным радиолокатором при многолучевом распространении отраженного от цели сигнала, при условии  $\varepsilon < \theta$ , где  $\varepsilon$  угол места цели,  $\theta$  ширина луча диаграммы направленности антенны, заключающийся в том, что осуществляют комплексный анализ изменения значения угла места цели путем квадратурной обработки отраженного от цели сигнала для выделения нулевого значения мнимой составляющей, отличающийся тем, что определяют отношение  $h_a/\lambda$ , где  $h_a$  - высота центра антенны над подстилающей поверхностью,  $\lambda$  длина волны радиолокатора, для которых значение мнимой составляющей сигнала равно нулю, и определяют угол места цели по формуле

$$\varepsilon = \arcsin 1 / \frac{2h_a}{\lambda}$$

дальность цели, которой соответствует данный угол места, из соотношения

$$D = \left[ \operatorname{tg}(\arcsin(1/(2h_a/\lambda)) - \left[ \operatorname{tg}^2(\arcsin(1/(2h_a/\lambda)) + 4 \frac{H_c^2}{D^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right] / \left[ -2 \frac{H_c}{D} \right]$$

где  $H_c$  высота цели,  $D_{пв}$  дальность прямой видимости.

